técnica

associação dos estudantes
do instituto superior técnico
revista de engenharia
julho 1971

410

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²

e

Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 1

ELECTRICIDADE DO LINDOSO E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

10.000 obras realizadas

- coberturas
- perfis especiais
- vigas pré-esforçadas
- pavimento trief
- protecção de segurança
- mosaicos
- tubos

materiais novobra

PAVIMENTOS

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADOS (HOMOLOGADOS PELO LAB. NAC. DE ENGENHARIA CIVIL)

LEIRIA — PONTE DAS MESTRAS, TEL. 2 37 68

LISBOA — AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º, Dto., TEL. 77 16 83 - 77 48 33

LAGOA — ESTRADA DO CARMO, TEL. 94

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NÚMERO 410 JULHO DE 1971 ANO XLVI VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

Director

Guilherme Silva Arroz

Administrador

José Toscano

Secretário

José Sá da Costa

Chefe de Redacção

Francisco Pedroso

Relações Públicas

Raul Pereira da Costa

Redactores

Antonio Mouraz Miranda
José de Oliveira Paulo
José Xambre Bento
Maria Teresa Lemos
Rogério Pinto

Colaboradores

Antonio Vieira Pita
Armando Cardoso
Eduardo Mimoso
Isabel Torgal Miranda

Assinaturas

		5 Nos.	10 Nos.
Continente e Ilhas	—	85$00	160$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	95$00	170$00
Estrangeiro	—		180$00

Número avulso — 25$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

533 *DUARTE - RAMOS* — **Quantificação do fenómeno de descargas parciais em dieléctricos sólidos.**
To Calculate partial Discharges in a Void of Solid Dielectrics.

541 *PERES RODRIGUES* — **Anisotropia de granitos.**
Anisotropy of Granites.

551 *MOURA ESTEVES* — **Aplicação das cartas de resistividades eléctricas aparentes no estudo de locais de barragens.**
Application of apparent electrical resistivity maps for dam site surveying.

559 *DUARTE SILVA e MARÇAL GRILO* — **Calibração e utilização de extensómetros eléctricos.**
Calibration and use of resistance strain gauges.

567 *M. W. ROTHMAYR* — **Liofilização.**
Liofilization.

581 *REIS SIMÕES* — **Formas matriciais no cálculo de afinores.**
Matrices forms in afinor calcul.

583 **Vida Escolar e Associativa**
Moniz Pereira — Issues in heuristics.

587 **Bibliografia**

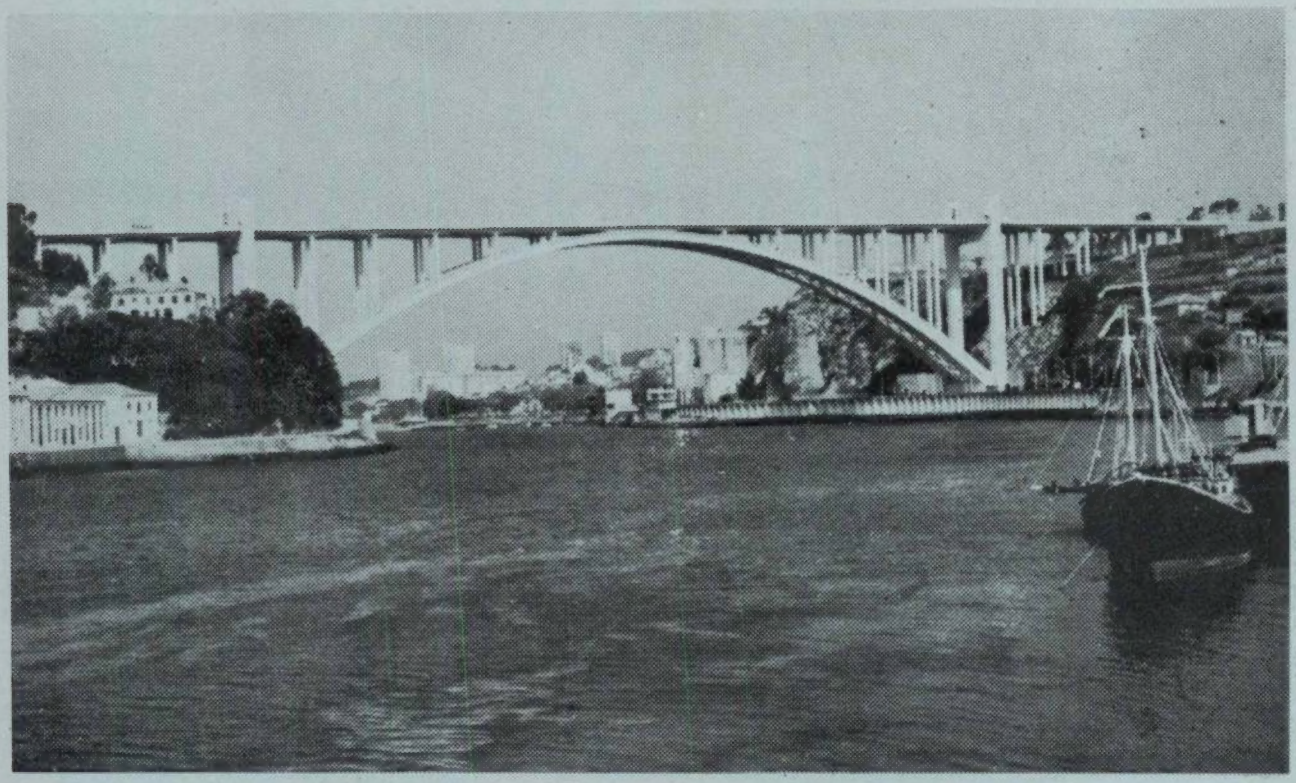
CAPA: Chaminé tronco — cónica de betão armado construída por CONSTRUÇÕES TÉCNICAS S.A.R.L. para a Siderurgia Nacional.

INDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXX
Aguiar & Melo, Lda.	XXIX
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Cometna	XIV
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XX
E. Pinto Basto e Comp. Lda	XXVI
EFACEC	XV
Eficex Kienzle	XXVII
Elctroténicos Reunidos	XXI
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	XXIV
Empresa Electro Cerâmica	XXVIII
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	IV e VIII
Heliaço	2.ª da capa
Hidrel	XXVII
Hoechst Portuguesa	XXV
Isola	XXVI
Isolux	IV
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	XXXI
J. F. Azevedo e Silva	VII
J. Roma	V
Jomatel	XIV
Livros Técnicos	V e XXXI
MAGUE	XIII
Mobil Oil	XVIII
Novobra, Lda.	2.ª da capa
Philips Portuguesa	XXIII
Plessey Automática Eléctrica	XXV
Rotring	XXVIII
Spesa	V
Siemens	XII
Soc. Electricidade Brown Bovery	4.ª da capa
Soc. Amadeu Gaudêncio	XXVII
Soc. Industrial Metalúrgica	XXVII
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
S. K. F. Lda.	XXII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	V
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
Time-Sharing	X
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
Wild Portugal, Lda.	III

espiral

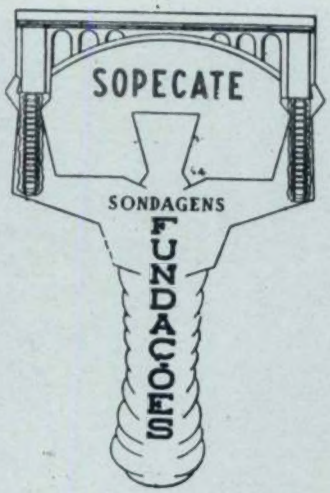
na base da construção moderna: estacas FRANKI, moldadas no solo.



A elevada gama de diâmetros das estacas Franki permite a melhor adaptação a cada problema concreto de fundações, desde a construção mais ligeira até à de grande concentração de cargas muito elevadas. Material permanentemente actualizado e pessoal com especialização constantemente aprofundada garantem a segurança, rapidez e economia das fundações executadas.

FRANKI

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

- ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA
- SONDAGENS GEOLÓGICAS
- REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS
- FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R C ESQ. — LISBOA - 1

- TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS

PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

✱

MATERIAL APROVADO PELOS

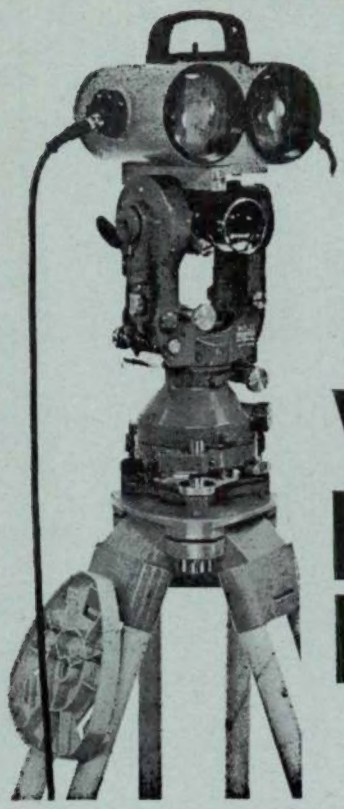
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73



Agora

para distâncias

até 2000 m

WILD DISTOMAT DI 10

O mais recente modelo do único aparelho de medição de distâncias, por infra-vermelhos, em serviço desde 3 anos, permite alcance até 2000 m e é adaptável aos teodolitos WILD T1A, T16 e T2.

Esta combinação é a ideal para poligonações, levantamentos por radiação e para implantações.

Economiza	**tempo, trabalho, dinheiro**
Aumenta	**precisão, rendimento, lucro**
Aprovado	**desde 3 anos em toda a parte do mundo**
Garantido	**pelos nossos serviços técnicos**

WILD
HEERBRUGG

50 JAHRE · 50 YEARS · 50 ANS · 50 AÑOS
1921 1971
WILD HEERBRUGG

Solicitem prospecto detalhado ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8 * TEL. 68 91 12 * LISBOA-2

TECNICA III

ESCAVADORAS HIDRÁULICAS
S/RODAS — S/LAGARTAS

— ENTREGAS IMEDIATAS

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA, LDA.

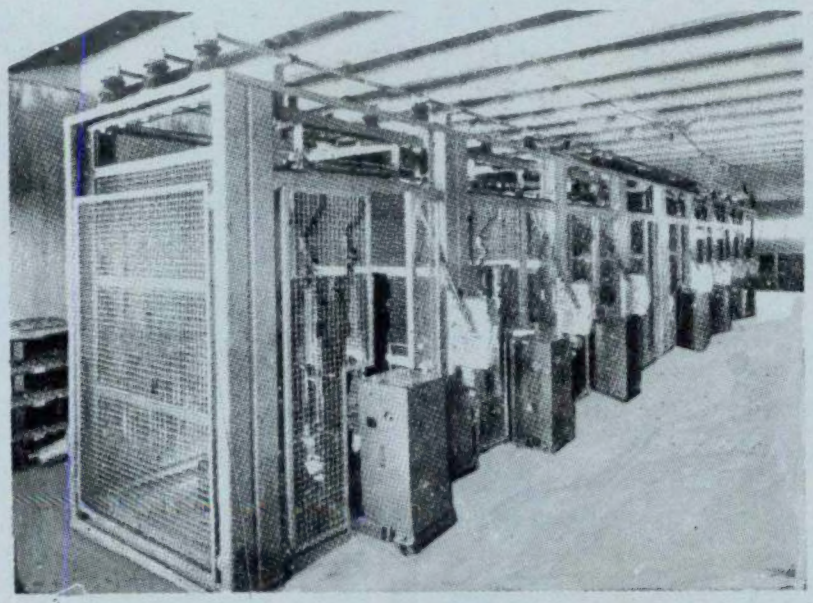
RUA ÁUREA, 181 - 2.° — TELEFONES 325011 - 327845 — LISBOA

ISOLUX L.DA

ESTUDOS E INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Porto
R. Dr. Alfredo Magalhães, 110 - 2º. Dtº.
Tel. 20723

Lisboa
L. Campo Pequeno, 21 - 4º Esq
Tel. 77 00 30/8/9



CELAS ABERTAS DE ALTA TENSÃO

Projectos e instalações eléctricas de:

Centrais

Subestações

Postos de Transformação

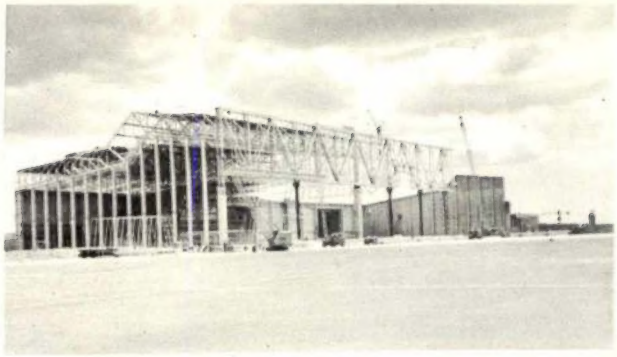
Fábricas

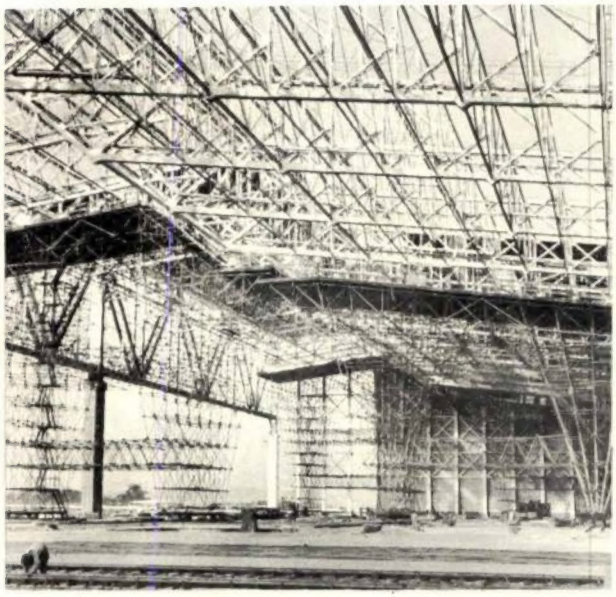
Edifícios públicos

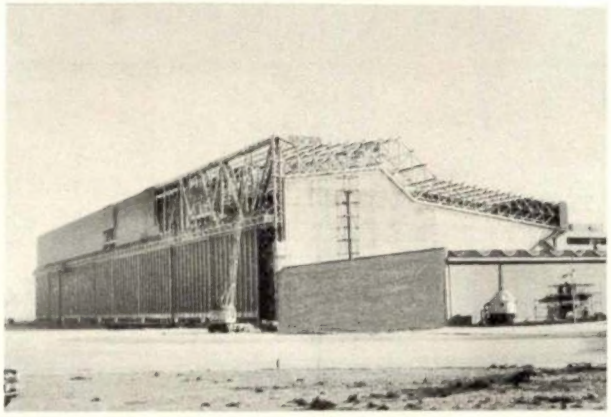
Blocos residenciais

Esforçamo-nos por estar na primeira linha do progresso industrial do país. No mercado interno orgulhamo-nos do nosso crescimento. Com os olhos postos no Ultramar e confiantes no futuro estamos a colaborar com afinco no seu desenvolvimento industrial

Sepsa SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 * LEÇA do BAILIO * TELEX SEPSA P 2616







NOVO HANGAR DA TAP.
ESTRUTURA METÁLICA MONTADA E FABRICADA PELA SEPSA.
EM REGIME DE SUB CONTRATO PARA AS CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

Na era dos jumbo-jet a SEPSA também está presente. No AEROPORTO DA PORTELA, em LISBOA, construímos para a TAP a estrutura metálica do enorme hangar destinado aos BOEING 747. Com vãos de 138 e 69 metros, uma altura de 31,5 metros, profundidade de 64 metros, é o maior edifício do género no mundo português.

Sepsa SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 * LEÇA do BAILIO * TELEX SEPSA P 2616

Dimensionamento de Secções de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

- Flexão simples de secções rectangulares simplesmente armadas
- Flexão simples de secções rectangulares duplamente armadas
  a) com armadura de compressão reduzida
  b) com armadura de tracção reduzida
- Flexão simples de secções T duplamente armadas
- Flexão simples de secções T duplamente armadas
- Compressão simples
- Flexão composta de secções rectangulares
  a) com armadura simétrica
  b) com armadura de tracção reduzida
  c) com armadura de compressão reduzida
- Flexão composta desviada de secções rectangulares
- Flexão composta de secções em T
  a) com armadura de tracção reduzida
  b) comarmadura de compressão reduzida
- Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
- Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas
- Esforço transverso

Preço 150$00

Dimensionamento de Secções Circulares de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

- Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
- Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas

Preço 60$00

Por J. M. MADEIRA COSTA

ENG.º CIVIL

À venda na TÉCNICA e nas LIVRARIAS

• SOLDADURA ELÉCTRICA

• MATERIAL DE PROTECÇÃO

Aparelhagem de medidas eléctricas

- indicadora
- reguladora
- registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º LISBOA Tel. 865151 · P. do Município, 309-6.º S 3 PORTO Tel. 0236732

SONDAGENS RODIO, LD.

R. S. Bento, 644 - 3.º LISBOA

PORTO
LUANDA
BEIRA

TELEFONE: 68 80 96

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

RODIO

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa

No Norte: **SCIAL** — R. António Feliciano de Castilho, 1126 — Telef. 97 09 32 — Areosa — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA

Caran

AV. VISCONDE VALMOR. 76 - 1º LISBOA - 1 - TELEF. 766014 (7 linhas)

JF

Teve o prazer de colaborar na remodelação da **casa**

AGUIAR

Fornecendo todo o material de iluminação

DAS SUAS REPRESENTADAS

OY NOKIA AB Calha eletrificada trifásica	DURO TEST Lâmpadas fluorescentes OPTIMA Lâmpadas refletoras SUPER BRANCO	EDGCUMBE PEEBLES Combinador electromecânico de excentricos para controle de luzes
LITA Armaduras de todos os tipos	MA INTERLIGHT **Merchant Adventurers Limited** Armaduras para aplicação em calhas electrificadas	JF Fabricou ainda nas suas oficinas as armaduras especiais para lâmpadas fluorescentes segundo desenho fornecido pelo cliente

Peça uma demonstração a: **DIVISÃO DE ILUMINAÇÃO ESPECIAL**

JF

J.F. DE AZEVEDO E SILVA & Cª Lda

Rua S. Filipe Néri, 51-B • Tel. 65 37 11 - 65 41 65 • LISBOA

WABCO
An American-Standard Company

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADES ATÉ 34 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

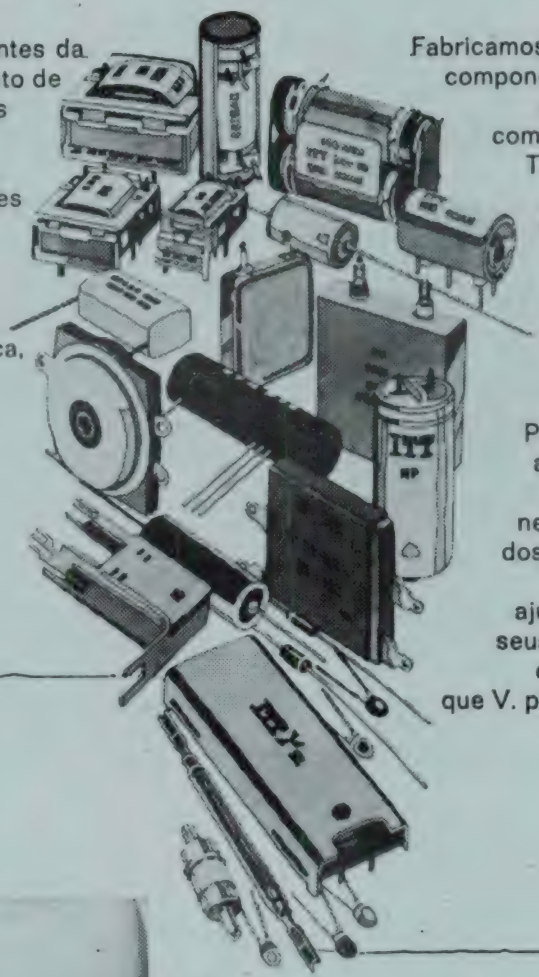
GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

Se ainda não encontrou o componente que precisa... ... nós temo-lo para si!

71-B

O "Grupo de Componentes da ITT Europa" é um conjunto de Empresas especializadas no desenvolvimento, fabrico e venda de componentes electrónicos.
Na Europa Ocidental contamos com 4 modernos centros de investigação científica, 56 unidades fabris e 38 escritórios principais de vendas.



Fabricamos uma vastíssima gama de componentes electrónicos: desde a simples resistência aos complicados cinescópios para TV a cores; de minúsculos termistores a enormes klistrões; semicondutores, circuitos integrados, L.S.I., válvulas electrónicas, cristais de quartzo e filtros, relés, microfones, motores, fios, cabos e ligadores.
Pelo facto de pertencermos ao grupo ITT temos acesso ao conhecimento das necessidades e solicitações dos mais diversos mercados.
A experiência adquirida ajuda-nos pois a resolver os seus problemas e permite-nos oferecer-lhe o componente que V. precisa no momento exacto.

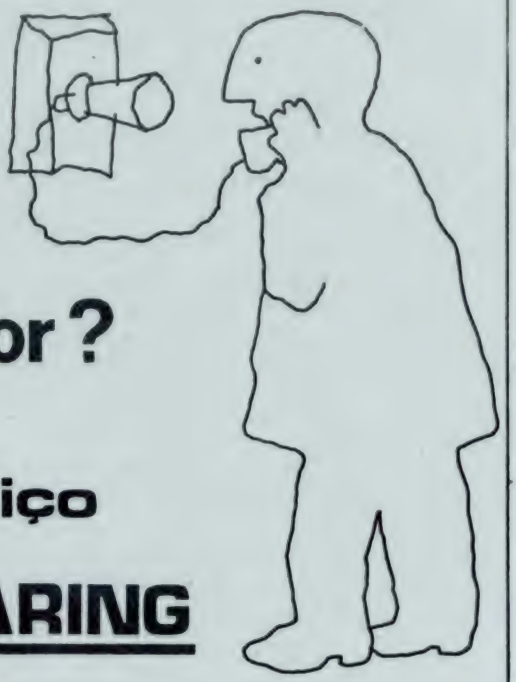
Exemplos de componentes ITT
são estes condensadores miniatura largamente utilizados pelos fabricantes de receptores de rádio e TV.
Utilizam essencialmente tântalo sólido, material normalmente reservado para componentes empregados em equipamentos profissionais.
Diâmetros de 3, 5 a 7,5 mm!
Tensões de 6 a 35 V
Capacidades de 0,1 a 50 microfarads

Para informações completas dirija-se a:
STANDARD ELÉCTRICA, S. A. R. L.
Divisão ITT de Vendas de Componentes
Av. da República, 60, 2.º-D.
Lisboa 1
Telef. 76 54 91

COMPONENTES

ITT

será possivel telefonar a um computador?



sim... com o serviço

TIME-SHARING

BASTARÁ DISPOR DE:

- UM TERMINAL
- UM TELEFONE
- UMA TOMADA

E TERÁ AO SEU DISPOR, INSTANTÂNEAMENTE, A ENORME POTÊNCIA DE UM GRANDE COMPUTADOR

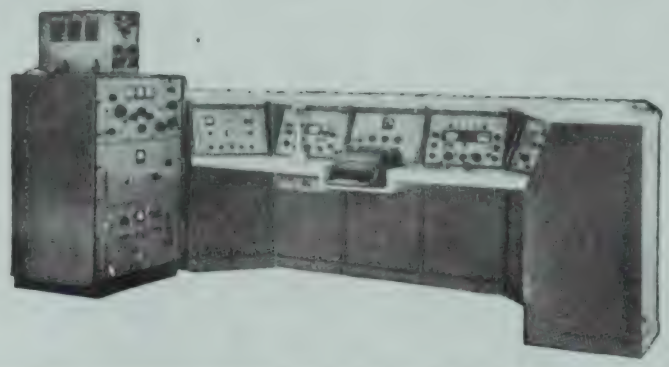
Logo que, pelo telefone, se estabelecer ligação com o Centro de Time-Sharing, o utilizador pode iniciar o diálogo com o computador, através do teclado do terminal. Qualquer pessoa pode servir-se do TIME-SHARING, mesmo que não tenha a menor noção do que é programar. A linguagem utilizada — o BASIC — aprende-se em escassas horas.

ALGUMAS APLICAÇÕES DO TIME-SHARING: análise de investimentos (cash-flow), análise de regressão, P. E. R. T., programação linear, resolução de equações diferenciais, cálculo de estruturas, cálculo de latitudes, distribuição, estudos de mercado, estudo de circuitos eléctricos, composição de tintas, ensino programado, etc., etc.

SOCIEDADE PORTUGUESA DE COMPUTADORES EM TEMPO DIVIDIDO

(TIME-SHARING), SARL.

Avenida 5 de Outubro, 95-3.º, - Telef. 769551



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

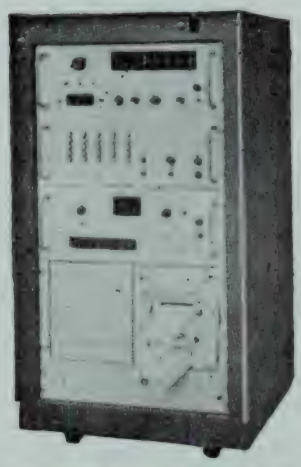
HEWLETT hp PACKARD

aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador Sanborn

Registador digital Dymec



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

SIEMENS

DIV 1 67 004

Uma mão por cima, outra por baixo...

Fornecemos

CONTACTORES, DISJUNTORES, ARRANCADORES, FUSIVEIS NH E DE ROLO, INTERRUPTORES, ETC

Peça catálogos ou esclarecimentos à secção Técnica da

SIEMENS-COMPANHIA DE ELECTRICIDADE, S.A.R.L.

LISBOA-1 — AV ALMIRANTE REIS, 65 — TEL 53 69 21/0 • PORTO — RUA DAS CARMELITAS, 26-2º — TEL 2 89 41 11

técnica

NUMERO 410 JULHO DE 1971 ANO XLVI VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 671.315.611.017.143

QUANTIFICAÇÃO DO FENÓMENO DE DESCARGAS PARCIAIS EM DIELÉCTRICOS SÓLIDOS*

por HERMÍNIO DUARTE-RAMOS
Eng. Elect. (I. S. T.)
Dip. Ing. (TU — Hannover)
Assistente da U. L. (Angola)

RESUMO

Após a definição das grandezas de quantificação das descargas parciais ejectua-se a dedução da expressão que relaciona o número de fenómenos por periodo com a tensão aplicada, na hipótese do passo de descargas parciais ser igual à respectiva queda da tensão. Por fim critica-se a relação deduzida por meio das condições de inserção.

SYNOPSIS

We show some methods to calculate partial discharges. The relation between the number of partial discharges and the applied voltage is deduced under the assumption that the partial discharge path is equal to the voltage fall. That important equationis criticised with the inception conditions.

1. INTRODUÇÃO

O número de descargas parciais, que se verificam num material isolante quando a tensão aplicada atinge um valor suficientemente elevado, representa um importante papel no julgamento sobre a duração de vida dos equipamentos eléctricos de alta tensão.

Igualmente significativo são as «intensidades» das descargas parciais pois os efeitos de «fracos» fenómenos não se podem igualar a «fortes» ionizações, o que não se distingue pela contagem singela dos impulsos de corrente manifestados no circuito exterior. É no entanto difícil definir um critério para essa quantificação: a corrente média por período é para uns o critério mais significativo, a energia por impulso é para outros de maior importância, ou ainda, como é mais generalizado, a carga eléctrica expressa em pico-Coulomb representa melhor a natureza do fenómeno.

Qualquer que seja a grandeza eleita o seu cálculo e interpretação reside necessàriamente na evolução da tensão interior v_i (t) na cavidade onde se manifestam as descargas parciais. Por isso se deduzem no presente trabalho as expressões analíticas consequentes da teoria estabelecida pelo pensamento clássico de que quando a tensão aplicada atinge um determinado valor de inserção V_I surgem quatro descargas parciais por período. Além disso considera-se a influência da tensão restante V_r correspondente ao restabelecimento da tensão devido ao ambiente da cavidade que envolve o canal de descarga [1].

2. GRANDEZAS ELÉCTRICAS CARACTERÍSTICAS DAS DESCARGAS PARCIAIS

A avaliação quantitativa das descargas parciais faz-se através dos seus efeitos eléctricos, térmicos, ópticos ou acústicos. Os métodos não eléctricos podem oferecer vantagens nalguns casos específicos, mas em geral toma-se partido dos métodos eléctricos. Nestes avalia-se a intensidade de uma

* Artigo recebido na redacção em 14/6/971.

dada grandeza de medida no circuito exterior ao provete, que por isso se designa frequentemente grandeza aparente.

São grandezas simples as grandezas de medida relativas aos impulsos individuais, como a carga eléctrica aparente dos impulsos: dizem-se grandezas integrais as grandezas médias avaliadas num intervalo de tempo suficientemente longo em relação ao período da tensão aplicada, tais como a corrente média aparente, o valor quadrático ou a potência média exterior.

1.ª Tensão de inserção V_I (em kV)

A primeira grandeza que se considerou como índice de ionização de uma cavidade foi a tensão correspondente ao aparecimento do fenómeno e que recebeu o nome de tensão de inserção, referenciando-se pelo símbolo V_I.

Esta grandeza, mensurável aos terminais do espécime, será teòricamente o valor eficaz da tensão em que se detecta a primeira descarga parcial quando se eleva gradual e lentamente a tensão aplicada.

Na prática a detecção de descargas parciais é efectuada pela informação de um dos seus efeitos eléctricos, acústicos, luminosos, etc. Assim o valor da tensão de inserção depende fundamentalmente da sensibilidade do detector e do respectivo ruído. Daí a necessidade de especificar, para uma possível comparação de resultados experimentais, as características do aparelho utilizado e fixar a relação sinal-ruído admissível.

Por outro lado verifica-se que o aparecimento de uma descarga parcial por alternância da tensão aplicada não se mantém, devido a efeitos de carga espacial ou de pressão no interior da cavidade, podendo portanto admitir-se ainda não atingida a tensão de inserção (para a qual se conserva uma descarga parcial por alternância).

Deste modo entende-se por *tensão de inserção* de descargas parciais como sendo o mínimo valor da tensão em que se verifica uma descarga parcial por alternância, de um modo estabilizado e com uma intensidade superior a um valor pré-estabelecido. E de novo se exige o acordo na fixação deste valor limite.

A tensão de inserção revela-se uma grandeza importante sobretudo nos ensaios de equipamentos completos, pois a sua detecção indica a existência de descargas parciais abaixo da tensão de serviço do equipamento. Não dá porém indicações sobre a natureza do fenómeno.

Os ensaios de rotina do isolamento dos equipamentos eléctricos têm por fim assegurar que não haja interrupções de serviço provocadas por disrupção dieléctrica. O teste ideal seria aquele que detectasse condições de deficiência antes de se dar de facto a avaria, a fim de evitar a interrupção de serviço. Embora hajam vários tipos de ensaios não existe todavia um processo que permita concretizar o teste ideal porquanto pequenos defeitos em dieléctricos elèctricamente muito esforçados podem conduzir a processos de disrupção com uma fase final muito rápida. Conclui-se assim que a tensão de inserção de descargas parciais, sendo inferior à tensão de serviço, é uma indicação de ocorrência de fenómenos internos de ionização, que poderão deteriorar mais ou menos ràpidamente o isolamento.

Neste aspecto o conhecimento do tipo de material usado na construção e o seu comportamento às descargas parciais é problema de primeira preocupação.

2.ª Cadência de repetição n (em s^{-1})

Os impulsos de corrente no circuito exterior relativos às descargas parciais interiores podem ser positivos ou negativos pelo que a sua contagem exige a inversão dos impulsos de diferente polaridade.

Sendo N o número de ocorrências por período a *frequência de repetição* de descargas parciais, ou cadência de repetição, para uma tensão alternada sinusoidal com a frequência f, será

$$n = N f \qquad (1)$$

quer direr, n é proporcional à frequência f da tensão aplicada através do número de descargas parciais por período.

3.ª Carga eléctrica exterior por descarga parcial q_e (em pC)

A carga eléctrica de um impulso exterior pode ser determinada e constitui uma indicação da amplitude das descargas parciais.

Estes valores são contudo significativos apenas quando se verificam poucas descargas parciais por período e de grande amplitude. Os fenóme-

nos de reduzida amplitude são difíceis de distinguir do ruído inerente ao circuito de detecção e medida.

4.ª Carga eléctrica exterior por período Q_e (em pC)

Na realidade ocorrem impulsos de diferentes amplitudes pelo que se torna difícil, sob determinadas condições de ensaio, caracterizar o fenómeno pela carga eléctrica individual dos impulsos.

Usando processos integradores avalia-se de preferência a *carga eléctrica média* por período ou num certo intervalo de tempo Δt, independentemente da polaridade,

$$Q_e = \frac{1}{\Delta t} \sum_{\nu} |q_{e,\nu}| \qquad (2)$$

valor que também apenas tem significado se se verificam poucas descargas parciais de grande amplitude.

5.ª Valor quadrático D (em $C^2 s^{-1}$)

A experiência mostra que muitos materiais isolantes, por exemplo, mica, papel impregnado, etc., têm um comportamento satisfatório durante muito tempo apesar da existência de pequenas descargas parciais internas de difícil resolução individual.

Prefere-se então definir o *valor quadrático* pela média dos quadrados da carga aparente dos impulsos no intervalo de tempo Δt

$$D = \frac{1}{\Delta t} \sum_{\nu} q_{e,\nu}^2 \qquad (3)$$

que dá maior relevo às descargas parciais de maior amplitude, exactamente as mais perniciosas sob o ponto de vista de duração de vida dos dieléctricos, e ao mesmo tempo é independente da eventual sobreposição de vários impulsos dado o seu carácter aleatório.

6.ª Corrente média exterior de descargas parciais $\bar{I}_e$ (em μA)

Com espécimes reais, mais complexos que os modelos artificiais normalmente objecto da investigação, pode haver numerosos impulsos provenientes de diversos pontos que tendem a sobrepor-se. Interessa então definir a intensidade de corrente como uma grandeza integral, o que se faz atravéz da *corrente média* exterior de descargas parciais, isto é, a média dos valores absolutos das cargas eléctricas dos impulsos exteriores por unidade de tempo

$$\bar{I}_e = \frac{1}{\Delta t} \sum_{\nu} |q_{e,\nu}| \qquad (4a)$$

que no caso de N impulsos iguais por período se exprime

$$\bar{I}_e = n\, q_e \qquad (4b)$$

em que $n = N f$.

A corrente média exterior depende portanto linearmente da cadência de repetição n ou do valor médio da carga eléctrica exterior

$$\bar{I}_e = Q_e f \qquad (4c)$$

pois $Q_e = N\, q_e$.

7.ª Potência média exterior de descargas parciais P_e (em mW)

Pode obter-se a energia que o espécime troca por cada impulso exterior de descarga parcial, por exemplo no instante t_ν

$$w_{e,\nu} = q_{e,\nu} \cdot v(t_\nu) \,. \qquad (5a)$$

Num intervalo de tempo Δt suficientemente longo a energia total representa a energia dissipada no espécime, podendo separar-se a energia relativa às descargas parciais [2] cuja potência será

$$P_e = \frac{1}{\Delta t} \sum_{\nu} q_{e,\nu} \cdot v(t_\nu) \,. \qquad (5b)$$

A medida da energia dissipada pelas descargas parciais pode ser mais significativa que a carga eléctrica exterior, mas existirá forçosamente uma relação entre as duas grandezas.

3. TENSÃO INTERIOR

O estudo analítico do fenómeno de descargas parciais pode realizar-se a partir da tensão que

efectivamente se manifesta entre as superfícies da cavidade, na zona afectada, que designamos por *tensão interior* v_i, em oposição à tensão exteriormente aplicada v, a qual varia entre os valores da tensão de escorvamento V_D e a tensão restante V_r conforme a correspondente tensão aplicada à cavidade v_1 (fig. 1).

Para simplificar o tratamento matemático introduzimos a noção de *passo* interior de descargas parciais como sendo a variação sofrida pela tensão interior para que surja novo grupo de descargas parciais por período da tensão

$$\Delta V_i = V_D - V_r \ . \qquad (6)$$

Após a descarga parcial no instante t_1 a tensão interior decorre como a tensão aplicada à cavidade v_1 deslocada de $-\Delta V_i$

$$v_{i,1} = -\Delta V_i + v_1 \ , \text{ para } t_1 < t \leqslant t_2$$

até atingir a tensão de escorvamento momento t_2 em que se dá nova descarga parcial, equivalendo então novo deslocamento $-\Delta V_i$ da tensão interior

$$v_{i,2} = -2\,\Delta V_i + v_1 \ , \text{ para } t_2 < t \leqslant t_3$$

e assim sucessivamente até à última descarga k no quarto de período analisado, instante t_k em que

$$v_{i,k-1} = -(k-1)\,\Delta V_i + v_1 \ , \text{ para } t_{k-1} < t \leqslant t_k$$

iguala V_D. A partir desta altura a tensão interior

$$v_{i,k} = -k\,\Delta V_i + v_1 \ , \text{ para } t_k < t \leqslant t_{k+1}$$

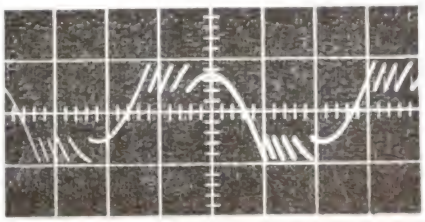
decorre até assumir o valor de escorvamento $-V_D$ na alternância oposta (suposta negativa), momento t_{k+1} correspondente a uma descarga parcial em sentido contrário às anteriores. Nas descargas parciais que se seguem v_i vai tomando as formas que tomara entre as descargas parciais de polaridade contrária mas por ordem oposta visto que sofre agora sucessivos deslocamentos $+\Delta V_i$ em cada descarga parcial, quer dizer, são iguais as expressões de v_i nos intervalos (t_{k+1}, t_{k+2}) e (t_{k-1}, t_k) e assim por diante até (t_{2k-1}, t_{2k}) que se refere a $v_i = v_1$ conforme em (t_0, t_1). No quarto de período seguinte, com descargas parciais de igual polaridade ao anterior por pertencerem à mesma alternância de v_1, a tensão interior continua a sofrer sucessivos deslocamentos $+\Delta V_i$ de tal modo que

$$v_{i,3k-1} = (k-1)\,\Delta V_i + v_i \ , \text{ para } t_{3k-1} < t \leqslant t_{3k}$$

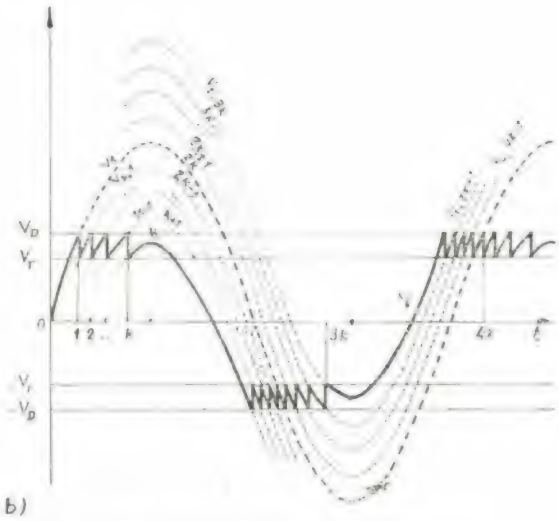
ao atingir $-V_D$ determina o instante t_{3k} em que a tensão interior é sujeita ao último deslocamento positivo

$$v_{i,3k} = k\,\Delta V_i + v_1 \ , \text{ para } t_{3k} < t \leqslant t_{3k+1}$$

até ao instante t_{3k+1} onde alcança o valor $+V_D$. Agora as descargas parciais são como no início, provocando deslocamentos $-\Delta V_i$ na tensão interior v_i, pelo que o mecanismo se repete.



a)



b)

Fig. 1 — Tensão interior de descargas parciais.
a) Oscilograma obtido com um modelo de parâmetros concentrados.
b) Funções dos diferentes troços da tensão interior.

4. PASSO DE DESCARGAS PARCIAIS

Quando a tensão aplicada à cavidade

$$v_1 = \hat{V}_1 \sin \omega t \qquad (7)$$

atinge o valor de escorvamento V_D (instante t_1) surge uma descarga parcial e a tensão na cavidade sofre uma variação até ao valor V_r da tensão restante, sendo portanto

$$\Delta V_i = (1 - r)\ V_D \tag{8}$$

com o parâmetro

$$r = \frac{V_r}{V_D}\ . \tag{9}$$

O intervalo de tempo de duração de uma descarga parcial T_D relativamente ao intervalo sem descarga parcial pode encarar-se como sendo nulo. Na realidade $T_D \simeq 10^{-8}$ s enquanto o período da tensão para 50 Hz é $T = 0{,}02$ s.

Nestas condições o valor instantâneo da tensão interior será (fig. 2 a), conforme o intervalo de tempo a que diz respeito e no caso de reinarem as condições de inserção (valor de pico $\hat{V}_1 = V_D$)

$$v_i = v_1 \quad , \quad 0 < t < t_1$$

$$v_i = -\Delta V_i + v_1 , \quad t_1 < t < t_2$$

$$v_i = v_1 \quad , \quad t_2 < t < t_3$$

$$v_i = \Delta V_i + v_1 \quad , \quad t_3 < t < t_4 .$$

Aumentando a tensão aplicada à cavidade v_1 continua a aparecer apenas uma descarga parcial por quarto de período mas em que o instante do fenómeno é desviado para a zona íngreme da tensão (fig. 2 b).

Prosseguindo no aumento da tensão v_1 atinge-se um valor em que surge mais uma descarga parcial por quarto de período. Nesse momento é $v_1 = V_D + \Delta V_i = \hat{V}_1$. E o processo continua anàlogamente. Como ΔV_i vai marcando o ritmo de variação do número de descargas parciais na cavidade designamos esta grandeza por *passo interior* de descargas parciais. Através da expressão $\Delta V_i = V_D - V_r$ deduz-se que fìsicamente é igual à queda de tensão verificada na cavidade em cada descarga parcial, tendo portanto as dimensões de uma tensão.

Segundo o processo descrito quando $\hat{V}_1 = V_D + (k - 1)\ \Delta V_i$ o número de descargas parciais por quarto de período será de k.

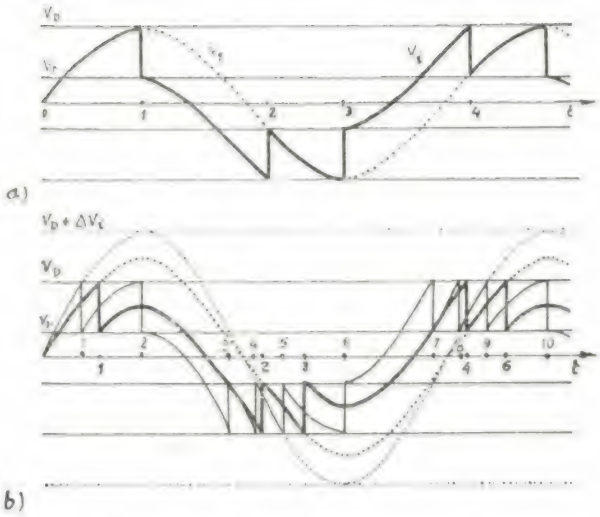


Fig. 2 — Dependência entre o número de descargas parciais e o passo interior.
a) Nas condições de inserção ($\hat{V}_1 = V_D$): k=1.
b) Tensão de pico $\hat{V}_1$ superior à tensão de escorvamento: se $V_D < \hat{V}_1 < V_D + \Delta V_i$ é k = 1; se $\hat{V}_1 = V_D + \Delta V_i$ é k = 2.

Ao se elevar a tensão v aplicada exteriormente ao dieléctrico a tensão v_1 aplicada à cavidade eleva-se também e quando esta atinge o valor de escorvamento V_D aquela tem o valor de pico de inserção $\hat{V}_1$, que é mensurável. Por isso a relação de transformação entre os referenciais interior e exterior à cavidade estabelece a proporcionalidade

$$m = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_1} = \frac{\hat{V}_1}{V_D}\ . \tag{10}$$

Prosseguindo no aumento da tensão aplicada v e decorrida a variação ΔV_i de v_i (ou de v_1) surge uma segunda descarga parcial por quarto de período, e assim por diante. Sendo k o número exacto de descargas parciais por quarto de período será, com um *passo exterior* ΔV_e, $\hat{V} = m V_D + k \Delta V_e$ e como $\hat{V}_1 = V_D + k \Delta V_i$ conclui-se

$$\Delta V_e = m \Delta V_i \tag{11a}$$

que devido a $\Delta V_i = (1 - r)\ V_D$ conduz a

$$\Delta V_e = (1 - r)\ \hat{V}_1 \tag{11b}$$

como fìsicamente bem se compreende.

Note-se que não existe correspondência entre o passo exterior ΔV_e e a queda de tensão externa devida à descarga parcial pois $\Delta V << \Delta V_e$.

5. FAIXA DE DESCARGAS PARCIAIS

Se ocorrem k descargas parciais por quarto de período o instante de realização da última descarga parcial (de ordem k) depende do valor da tensão aplicada, ocorrendo junto de T/4 ou entre este valor e $T/4 - T_k$, sendo T_k o deslocamento temporal sofrido pela descarga parcial k durante o percurso do passo (até surgir nova descarga parcial) e que por isso se poderá designar *desvio temporal de passo*. De um modo geral

$$\frac{T}{4} - T_k \leqslant t_k < \frac{T}{4}$$

e portanto $v_i = -k\,\Delta V_i + v_I$ para $t_k < t \leqslant t_{k+1}$ tem um máximo em $t = T/4$ compreendido entre V_r e V_D, que designamos genèricamente por $\hat{V}_k$ (fig. 3a). Neste instante será pois $\hat{V}_k = -k\,\Delta V_i + \hat{V}_I$ donde se obtém o número de descargas parciais por quarto de período

$$k = \frac{\hat{V}_I - \hat{V}_k}{\Delta V_i}. \qquad (12a)$$

Desde já se vê que o número de descargas parciais é inversamente proporcional ao passo.

Interessa todavia exprimir k nas grandezas exteriores, pois só estas são mensuráveis. Como $\Delta V_i = (1-r)\,V_D$, devido a m e definindo por analogia $r_k = \hat{V}_k / V_D$ deduz-se

$$k = \frac{1}{1-r}\left(\frac{V}{V_I} - r_k\right) \qquad (12b)$$

expressa nos valores eficazes da tensão aplicada V e da tensão de inserção V_I.

O percurso do passo após a ocorrência de k descargas parciais provoca uma variação de $\hat{V}_k$ entre V_r e V_D, e quando $\hat{V}_k = V_D$ surge o aumento unitário de k. O aumento de $\hat{V}_k$ durante o percurso do passo não provoca alteração do número de descargas parciais e os seus limites V_r e V_D determinam as bermas da faixa de descargas parciais:

— *berma inferior*, (para $\hat{V}_k = V_D$):

$$k_{inf.} = \frac{1}{1-r}\left(\frac{V}{V_I} - 1\right) \qquad (12c)$$

— *berma superior*, (para $\hat{V}_k = V_r$):

$$k_{sup.} = \frac{1}{1-r}\left(\frac{V}{V_I} - r\right) \qquad (12d)$$

donde a propriedade

$$k_{sup.} = k_{inf.} + 1. \qquad (12e)$$

Experimentalmente procede-se à leitura da tensão exterior quando o número de descargas parciais k sofre uma variação unitária. Não tendo esta preocupação ou sendo difícil obter-se-ão valores dentro da *faixa* de descargas parciais, correspondentes a $V_r < \hat{V}_K < V_D$ (fig. 3 b).

Esta faixa é caracterizada pela *inclinação* das bermas

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{1-r} \qquad (13)$$

e pela *altura de faixa*

$$H_k = k_{sup.} - k_{inf.} = 1 \qquad (14)$$

expressa em descargas parciais por quarto de período.

Um caso particular importante é definido por $V_r = 0$, isto é, $r = 0$. Nestas condições a inclinação da faixa é de 1 : 1 (fig. 3 c).

6. NÚMERO DE DESCARGAS PARCIAIS POR PERÍODO

Quando ocorrem k descargas parciais por quarto de período verifica-se $\hat{V}_I = V_D + (k-1).\Delta V_i$ onde a descarga parcial de ordem k se manifesta no máximo de v_I. Esta expressão define portanto a berma superior da faixa de descargas parciais

$$k_{sup.} = \frac{\hat{V}_I - V_r}{\Delta V_i}.$$

Como o número de descargas parciais por período é $N = 4\,k$ obtém-se

$$N_{sup.} = \frac{4}{\Delta V_i}\,(\hat{V}_I - V_r)$$

ou

$$N_{sup.} = \frac{4}{\Delta V_i}\,(\hat{V}_I - V_D) + 4$$

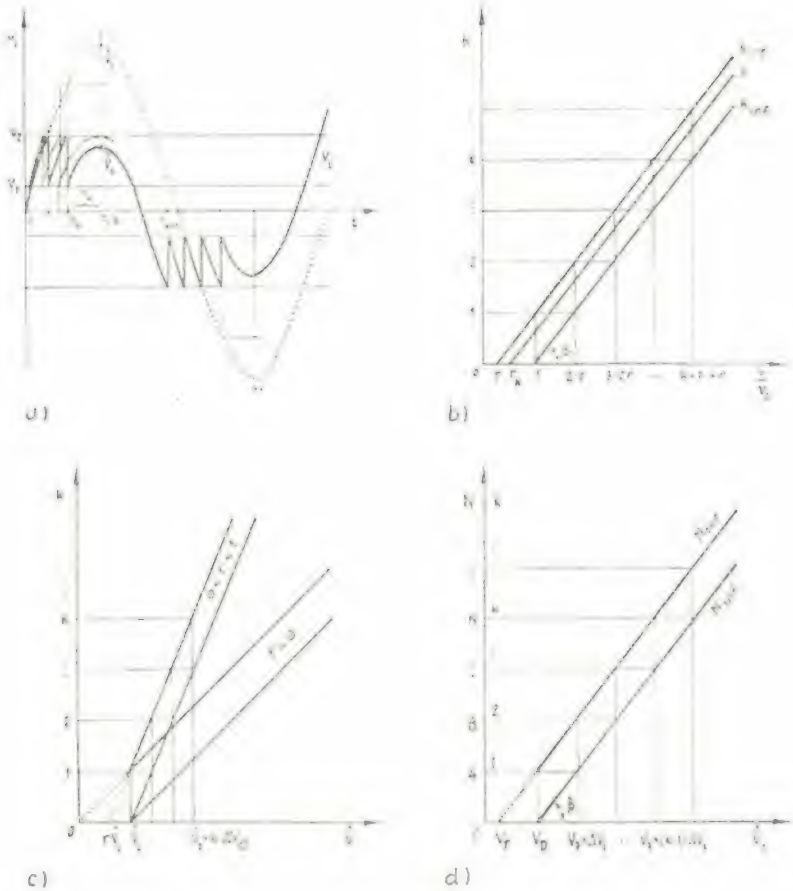


Fig. 3 — Número de descargas parciais.
a) Percurso do passo.
b) Faixa de descargas parciais.
c) Variação da faixa com o parâmetro r.
d) Número de descargas parciais por período N.

e finalmente com (8)

$$N_{sup.} = \frac{4}{1-r}\left(\frac{V}{V_1} - 1\right) + 4 \qquad (15)$$

sendo a berma inferior

$$N_{inf.} = \frac{4}{1-r}\left(\frac{V}{V_1} - 1\right) \qquad (16)$$

pois a altura de faixa é $H_N = 4$.

Na realidade o andamento da função N (V) é por degraus caracterizados pela inclinação segundo a equação (13) e por uma das bermas, preferindo-se a berma superior conforme expressa (15). O traçado gráfico desta função a partir de medições realizadas num dado provete permite calcular o parâmetro r relativo à razão entre a tensão restante e a tensão de escorvamento.

7. NÚMERO DE DESCARGAS PARCIAIS NAS CONDIÇÕES DE INSERÇÃO

A expressão (15) permite calcular o número de descargas parciais quando a tensão tem o valor de inserção ($V = V_1$), resultando $N = 4$ em consequência da evolução da tensão interior exigir uma descarga parcial por quarto de período (fig. 2 a). No entanto experimentalmente constata-se o aparecimento de uma descarga parcial por alternância, o que conduz à definição de tensão de inserção do parágrafo 2.

Este aspecto do problema tem sido analisado por vários autores cada um dos quais apresenta uma explicação plausível para a contradição acentuada, mas em nosso entender nenhuma satisfatória.

A primeira tentativa foi elaborada em 1955 por Oudin, Thévenon e Eyraud [3] que admiti-

ram a recombinação das partículas positivas e negativas formadas durante a ionização logo que a tensão interior se anula, seguindo depois a evolução sinusoidal da tensão v_1 aplicada à cavidade até nova descarga parcial na outra alternância (fig. 4 a). Uma recombinação instantânea e total das partículas quando $v_i = 0$ não é viável pois a experiência indica uma forte influência de uma carga espacial; por outro lado após o anulamento de v_i existe a tensão aplicada à cavidade pelo que o andamento da tensão não se manteria com o valor nulo.

Outra hipótese sugeriram Ververka e Hon [4] em 1963, baseada na resistência superficial da cavidade e da resistência interna do dieléctrico, segundo a qual a tensão v_i depois do apagamento da descarga parcial atingiria o andamento sinusoidal de v_1 por meio de um fenómeno transitório exponencial (fig. 4 b). A análise física das descargas parciais não esclarece todavia um comportamento tão distinto nas condições de inserção e para tensões mais elevadas, isto é,

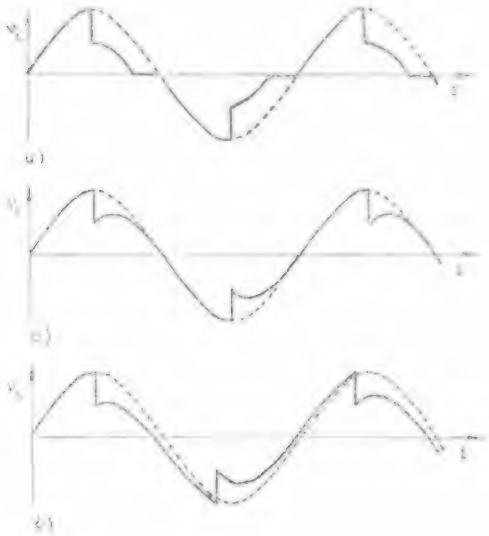


Fig. 4 — Descargas parciais nas condições de inserção.
a) Segundo Oudin, Thévenon e Eyraud [3].
b) Devido a Veverka e Hon [4].
c) Conforme Kueppers [5].

para as descargas parciais desviadas do instante do máximo da tensão. No entanto outros autores têm seguido este pensamento [5].

O problema é matéria de investigação para uma melhor interpretação da natureza física da ionização de cavidades.

8. CONCLUSÕES

As definições das grandezas típicas do fenómeno de descargas parciais mostram a grande importância que o número de descargas parciais por período N tem na sua quantificação.

A partir da evolução clássica da tensão interior elaborou-se uma teoria que conduziu à dedução da dependência de N e da tensão aplicada V. Embora o andamento da função N (V) seja experimentalmente confirmado, a definição experimental de tensão de inserção de descargas parciais não satisfaz à expressão analítica.

Uma crítica às soluções propostas sobre esta contradição revela a necessidade de uma diferente interpretação do fenómeno físico da ionização das cavidades de dieléctricos sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] H. DUARTE-RAMOS: Nova concepção do esquema equivalente de um dieléctrico sólido com cavidades; Técnica 395 (1970) p. 233-239.

[2] J. — P. GELEZ: Die getrennte Messung der Glimmentladungsverluste in einem inhomogenen Isolierstoff; ETZ-A, Bd. 81 (1960) p. 129-132.

[3] J. OUDIN, H. THEVENON, I. EYRAUD: Étude des phénomènes d'ionisation gazeuse dans les vacuoles des cables à haute tension; Revue Générale de l'Electricité (1955) p. 167.

[4] A. VERVERKA, A. HON: Das Ersatzschema fuer die inneren Entladungen in festen Dielektrikum; Acta Technica CSAV (1963) p. 509-523.

[5] H. J. KUEPPERS: Ueber den Einfluß erhoehter Leitfaehigkeit in der Umgebung von Hohlraeumen in Isolierstoffen auf die Phasenlage der Teilentladungen Dissertação T.H. Karlsruhe (1970).

MAGUE

Portico-grua para movimentação de contentores de 99,99 e 00 pes, com a capacidade de carga util de 30 toneladas, fornecido à A.G.P.L. e em funcionamento no Terminal de contentores de Santa Apolonia

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*

TURBINAS HIDRÁULICAS — *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*

TURBINAS A VAPOR — *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*

CALDEIRAS A VAPOR — *Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*

EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

A utilização de betão pronto impôs-se
ao dono da obra,
ao técnico responsável
e ao empreiteiro
porque garante qualidade,
rapidez e economia
em relação
a um betão fabricado em estaleiro.

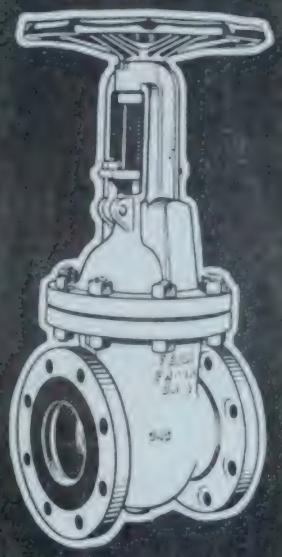
Consulte-nos.

Os nossos serviços técnicos
e comerciais
terão o maior prazer em prestar
todo o apoio
e colaboração
que nos forem solicitados.

UMA NOVA MARCA
DE BETÃO PRONTO

JOMATEL

VÁLVULAS
de cunha,
retenção, regulação
e passagem



Segundo normas DIN e ASA,
para líquidos, vapores e gases
(incluindo Cl, NH_3 e SO_2).
Execução em ferro fundido, aço
vazado, aço inoxidável
e ligas especiais.
Diâmetros nominais de 10 a 600mm.
Pressões nominais de 4 a 40 kg./cm².

ESTUDOS • PROJECTOS
ORÇAMENTOS
ASSISTÊNCIA TÉCNICA

FENAL

SOCIEDADE PORTUGUESA
DE VÁLVULAS, L.DA

Rua da Academia das Ciências, n.º 5,
Lisboa-2 - Telefone P.P.C.A. 320011.

C. D. U. 624.131.25 : 539.22
624.131.25 : 553.52

ANISOTROPIA DE GRANITOS*

ELIPSÓIDES DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE E DAS TENSÕES DE ROTURA, SISTEMAS DE DIACLASES E ATITUDES DAS ENCOSTAS. SUAS CORRELAÇÕES

por F. PERES-RODRIGUES

Engenheiro Civil, Especialista do Serviço de Barragens, Chefe da Divisão de Fundações e Túneis do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RESUMO

O presente trabalho refere-se, em primeiro lugar, à determinação experimental e definição analítica dos elipsóides dos módulos de elasticidade e das tensões de rotura, e suas correlações, de sete amostras de granitos provenientes de três locais distintos. Cada local foi caracterizado geològicamente pelos sistemas de diaclases e atitudes da encosta.

Na segunda parte do trabalho estabelecem-se, relativamente a cada local, correlações entre as características enunciadas, resultantes de observações em pequena e grande escalas num propósito de relacionamento de propriedades mecânicas e geológicas.

Os resultados obtidos são de molde a encorajar o prosseguimento de trabalhos desta natureza.

SYNOPSIS

The first part of this paper describes the analytic definition of the anisotropy of granites, the experimental definition of the modulus of elasticity and ultimate strength ellipsoids, and their correlations. Seven samples of granite of three different locations were used to establish the ellipsoids. In the second part of the paper correlations are made between the ellipsoids and some of the geologic characteristics of each sample location. Each location was characterized by the orientations of its joint systems and natural slopes. The object of this study was to relate the mechanical rock properties to the geologic characteristics of each location. The results indicate that such an approach is promising.

1 — INTRODUÇÃO

A Mecânica das Rochas, ramo da ciência que se encontra actualmente numa fase de teorização, procura encontrar na experimentação uma das vias que torne possível o enunciado das suas hipóteses fundamentais.

Vários trabalhos têm sido realizados com esta finalidade, porém os resultados conseguidos ainda não foram de molde a dar corpo a uma doutrina que possa explicar, de maneira satisfatória, a maioria dos problemas ligados à Mecânica das Rochas.

O presente trabalho procura, de algum modo, contribuir para o esclarecimento de possíveis correlações existentes entre as propriedades mecânicas das rochas, em particular dos granitos, módulo de elasticidade, E, e tensões de rotura, σ_{ult}, obtidas em ensaios de laboratório, e as propriedades geológicas dos correspondentes maciços rochosos, tais como as caracterizações dos sistemas de diaclases e atitudes das encostas, determinadas em trabalhos de campo.

As correlações postas em evidência neste trabalho entre os eixos e os planos principais dos elipsóides, por um lado, e as caracterizações dos sistemas de diaclases e as atitudes das encostas, por outro, mostram bem que os fenómenos geomecânicos ou doutra natureza afectaram de maneira correlativa o maciço rochoso, com a formação dos sistemas de diaclases e das encostas, efeito em grande escala, e a rocha com o aparecimento da anisotropia, efeito em pequena escala.

2 — ELIPSÓIDES DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE E DAS TENSÕES DE ROTURA

2.1 — Equipamento e técnicas de ensaio

O estudo da anisotropia, em laboratório, relativamente ao módulo de elasticidade, E, e à tensão

*Trabalho apresentado, em inglês, no 1.º Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, Lisboa, 1966, e posteriormente editado, também em inglês, como *Memória* N.º 332 do LNEC.

Artigo recebido na redacção em 30-12-970.

de rotura, σ_{ult}, foi efectuado sobre sete blocos de granitos com as dimensões aproximadas de $40 \times 40 \times 40$ cm, extraídos de galerias de prospecção existentes em três locais distintos. A extracção de cada bloco foi feita de modo a conhecer-se a sua orientação relativamente ao maciço rochoso.

O granito ocorrente em cada um dos locais tinha as seguintes características:

Alvarenga — granito de grão médio porfiróide de duas micas.

Alto Lindoso — granito de grão médio de duas micas.

Vilarinho — granito de grão grosseiro gnaissóide de duas micas.

De cada bloco foram cortados nove prismas com as dimensões aproximadas de $5 \times 5 \times 15$ cm, de três faces triortogonais, de forma a que três prismas correspondessem aos eixos definidos pela intercepção das faces e os outros seis às trissectrizes dos eixos tomados dois a dois, conforme se mostra na fig. 1.

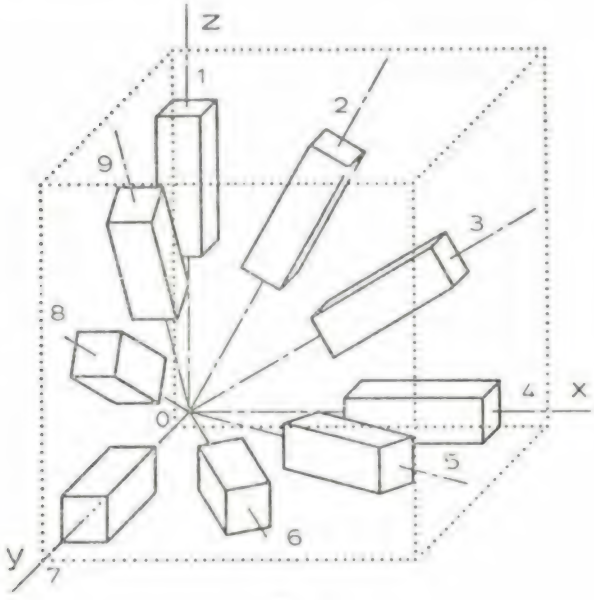


Fig. 1

Os topos dos prismas foram rectificados por meio de uma pequena camada de pasta de cimento de presa rápida.

As medições das deformações foram efectuadas com extensómetros eléctricos tipo Shinkoh por meio de um indicador Baldwin SR-4 tipo N.

Fez-se um ciclo de carga e descarga, até à tensão máxima de 200 kgf/cm², seguido de um repouso de 15 minutos, tempo suficiente para que se atingisse a estabilização aparente das deformações. Em seguida iniciou-se novo ciclo de carga até à rotura franca do prisma.

Determinaram-se, assim, para cada prisma, o módulo de elasticidade secante para a tensão de 200 kgf/cm² e a tensão de rotura franca.

2.2 — Bases teóricas e resultados obtidos

No que se segue admitiu-se que os módulos de elasticidade e as tensões de rotura ao redor de um ponto obedeciam a uma lei quadrática do tipo elipsóide e de equação matricial:

$$[P]^T [A] [P] = 10^7 \qquad (1)$$

em que:

- $[P]$ — é a matriz coluna representativa do ponto de coordenadas cartesianas x, y, z, extremidade do vector que define o módulo de elasticidade ou a tensão de rotura;
- $[P]^T$ — é a matriz transposta da matriz $[P]$, matriz linha;
- $[A]$ — é a matriz simétrica de 3.ª ordem contendo os seis coeficientes da quádrica centrada.

A equação (1), de acordo com as definições enunciadas, poder-se-á então escrever mais desenvolvidamente:

$$[x \ y \ z] \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_4 & a_5 \\ a_3 & a_5 & a_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = 10^7 \qquad (2)$$

Os valores mais prováveis dos seis coeficientes a_i foram calculados a partir do conhecimento das nove determinações experimentais obtidas sobre os prismas cortados de um mesmo bloco, mediante a aplicação do método dos mínimos quadrados.

As equações matriciais e os correspondentes elipsóides mais prováveis dos E e dos σ_{ult}, referentes a cada uma das sete amostras estudadas, encontram-se inscritos nas figs. 2 a 8 inclusive.

Os elipsóides estão representados pelas elipses principais a ponteado, pelas elipses nos planos

de referência a tracejado, estando a cheio a parte correspondente ao 1.° octante, e pela elipse do contorno aparente a traço ponto.

normal, por uma conveniente rotação dos eixos, e em segundo lugar as relações existentes entre os seus semi-eixos correspondentes.

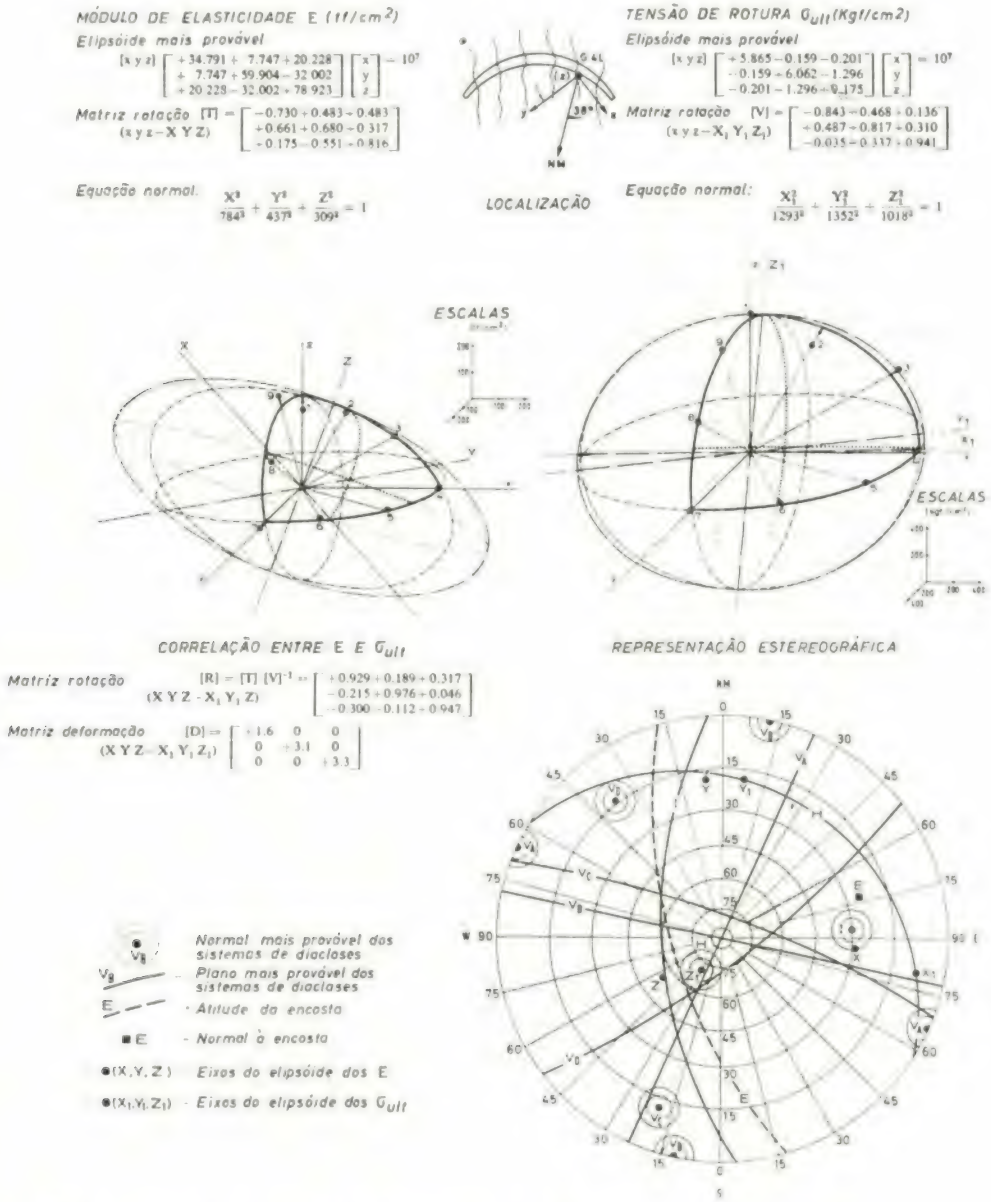


Fig. 2 — Granito de grão médio porfiróide de duas micas.
Local da Barragem de Alvarenga — Rio Paiva — Galeria 4 E

Pode verificar-se nos elipsóides a boa concordância entre os valores experimentais, representados por círculos cheios e numerados de 1 a 9, e os correspondentes valores teóricos, o que torna aceitável a hipótese feita da lei quadrática.

Para se estabelecer a correlação existente entre os elipsóides dos E e dos σ_{ult}, em cada local, determinou-se em primeiro lugar a sua forma

A forma normal da curva foi obtida por rotação dos eixos de referência (x, y, z) de modo a fazê-los coincidir com os eixos do elipsóide dos E, (X, Y, Z) ou com os eixos do elipsóide dos σ_{ult}, (X_1 , Y_1 , Z_1).

Os operadores rotações são definidos pelas matrizes ortogonais [T] ou [V] :

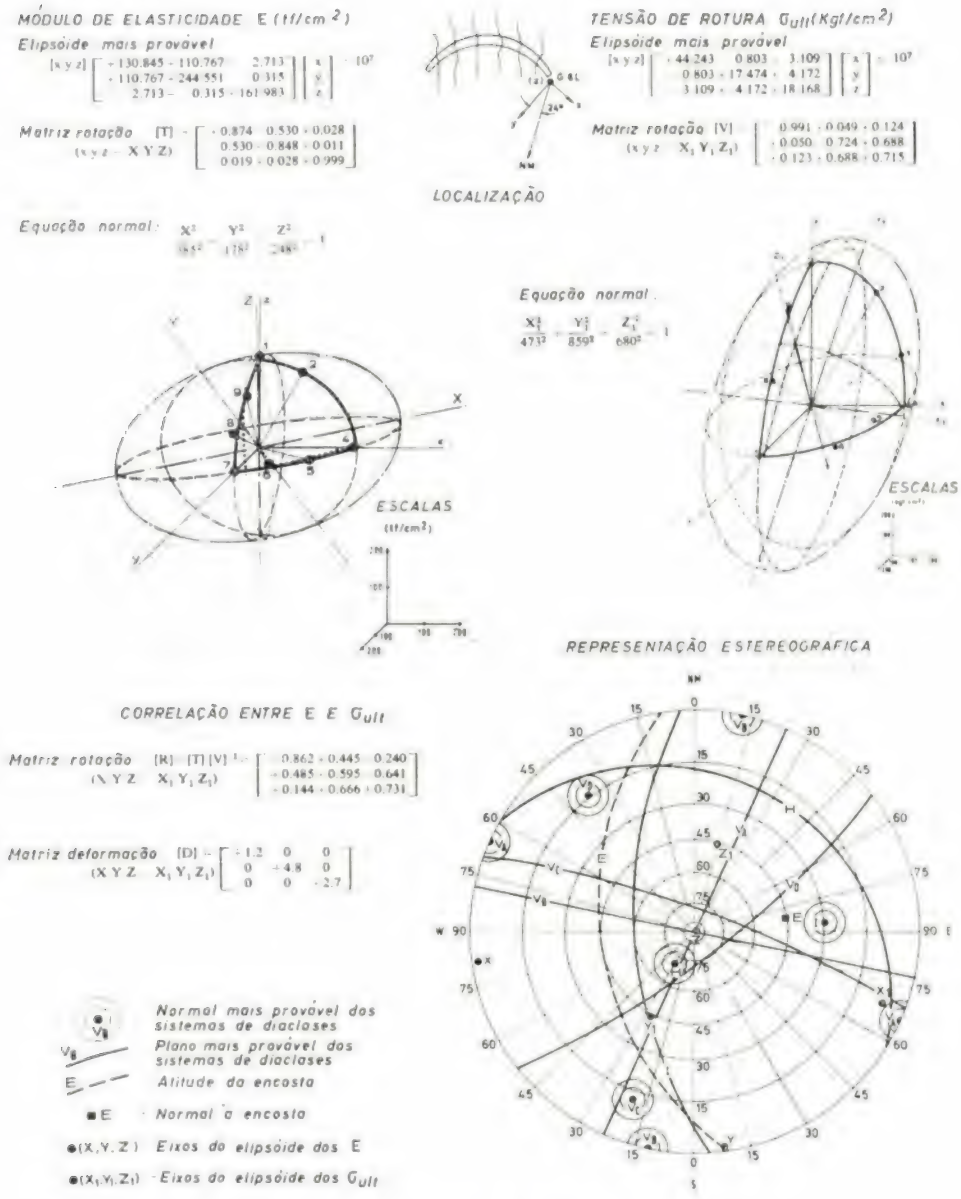


Fig. 3 — Granito de grão médio porfiróide de duas micas.
Local da Barragem de Alvarenga — Rio Paiva — Galeria 6 E

$$[T] \text{ ou } [V] = \begin{bmatrix} \cos\alpha_1 & \cos\beta_1 & \cos\gamma_1 \\ \cos\alpha_2 & \cos\beta_2 & \cos\gamma_2 \\ \cos\alpha_3 & \cos\beta_3 & \cos\gamma_3 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

consoante digam respeito aos E ou aos σ_{ult}.

Na matriz (3) os seis elementos representam, de maneira adequada, os co-senos directores dos eixos do sistema de referência relativamente aos eixos dos elipsóides, permitindo, quando aplicada à expressão (2), obter a forma normal:

$$(E) \equiv \frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} + \frac{Z^2}{C^2} = 1 \qquad (4)$$

ou

$$(\sigma_{ult}) \equiv \frac{X_1^2}{A_1^2} + \frac{Y_1^2}{B_1^2} + \frac{Z_1^2}{C_1^2} = 1$$

em que, como se sabe, A, B e C e A_1, B_1 e C_1 são os comprimentos dos semi-eixos.

As matrizes [T] e [V] e as formas normais obtidas para os elipsóides encontram-se, também, indicadas nas figs. 2 a 8 inclusive.

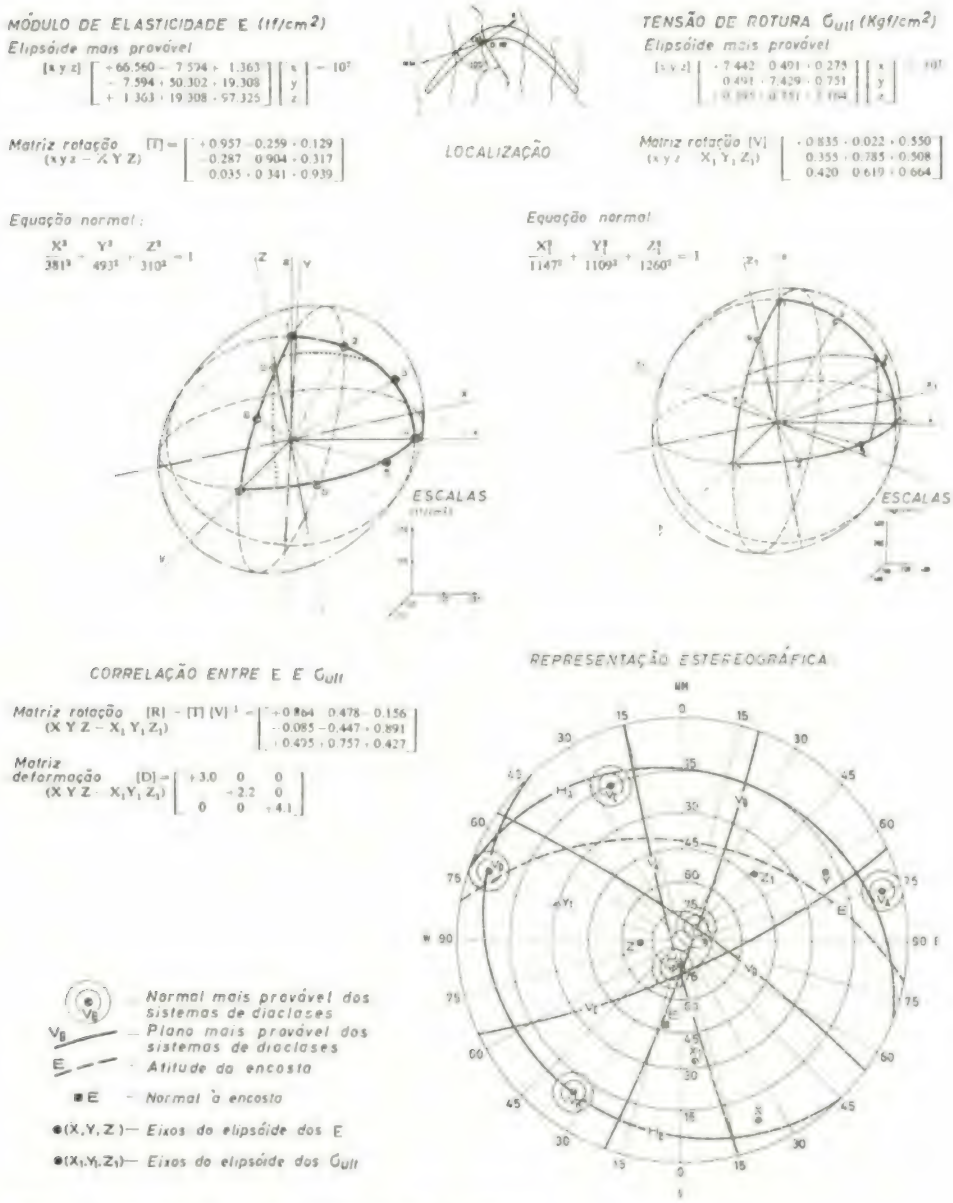


Fig. 4 — Granito de grão médio de duas micas.
Local da Barragem de Alto Lindoso — Rio Lima — Galeria 1 D

O operador rotação [R] que leva directamente os eixos correspondentes dos elipsóides à coincidência, sem passar pelo sistema de referência (x, y, z), é definido a partir das matrizes [T] e [V]:

$$[R] = [T]\,[V]^{-1} \qquad (5)$$

A relação entre os semi-eixos correspondentes dos elipsóides é obtida pela matriz diagonal de deformação [D]:

$$[D] = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & c \end{bmatrix} \qquad (6)$$

em que a, b e c são as relações dos semi-eixos correspondentes.

Se as relações dos semi-eixos forem iguais os elipsóides, depois da rotação, dizem-se homotéticos; caso contrário dir-se-ão autométricos.

Igualmente se indicam nas figs. 2 a 8 inclusive as matrizes rotação [R] e deformação [D].

2.3 — Análise dos elipsóides

A análise das características dos elipsóides dos E e dos σ_{ult} permite constatar que fenómenos geomecânicos ou doutra natureza influenciaram

os módulos de elasticidade e as tensões de rotura de maneira diferente, visto existir uma variação angular nas direcções dos eixos, embora pequena, uma relação diferente na grandeza dos semi-eixos correspondentes e geralmente uma ordem diferente na grandeza desses mesmos semi-eixos.

Assim, a correlação existente entre os E e os σ_{ult} em torno de um ponto é traduzida por uma transformação linear composta de uma rotação, definida pela matriz [R], e de uma transformação autométrica, definida pela matriz [D].

No Quadro I indicam-se os valores dos semi-eixos dos elipsóides dos E e dos σ_{ult}, por local estudado. Em relação a cada local calcularam-se as anisotropias máximas de cada elipsóide a partir do cociente dos semi-eixos maior e menor.

$$V_{\sigma_{ult}} = \frac{4}{3} \pi A_1 B_1 C_1$$

sendo a sua relação:

$$k = \frac{V_{\sigma_{ult}}}{V_E} = \frac{A_1}{A} \cdot \frac{B_1}{B} \cdot \frac{C_1}{C} = a\ b\ c \qquad (8)$$

o que prova, atendendo a (6), ser:

$$k = |D| . \qquad (9)$$

Os valores encontrados mostram que a alteração dos granitos diminui o valor de $|D|$, o que significa serem as tensões de rotura mais sensíveis a este fenómeno do que os módulos de elasticidade.

QUADRO I

Local	Galeria	Fig. n.º	Módulos de elasticidade, tf/cm²				Tensões de rotura, kgf/cm²				Relação $r = \frac{e}{e_1}$	Valor do determinante 10^{-9} $\lvert D \rvert$
			Semi-eixos			Anisotropia máxima e	Semi-eixos			Anisotropia máxima e		
			A	B	C		A_1	B_1	C_1			
Alvarenga	G 4 L	2	784	437	309	2,54	1293	1352	1018	1,33	1,91	16,4
	G 6 L	3	385	178	248	2,16	473	859	680	1,82	1,19	15,6
Alto Lindoso	G 1 R	4	381	493	310	1 59	1147	1109	1260	1,14	1,39	27,1
	G 2 L	5	509	369	291	1,75	1275	1200	1281	1,07	1,64	35,2
	G 4 R	6	270	349	421	1,56	761	1124	1010	14,8	1,05	21,5
Vilarinho	G12R	7	490	431	391	1.25	1353	1262	1120	1,21	1,03	23 5
	G14L	8	496	353	370	1,41	1373	1035	987	1,39	1,01	21,9
			anisotropia máxima (média)			1,75	anisotropia máxima (média)			1,35	1,31	

Na penúltima coluna inscreveu-se a relação das anisotropias máximas dos E e dos σ_{ult}, verificando-se que a anisotropia é sistemàticamente mais acentuada nos elipsóides dos E, pelo que é de presumir a sua maior sensibilidade aos fenómenos geomecânicos ou doutra natureza.

Na última coluna do quadro indicam-se os valores dos determinantes das matrizes deformações [D], que representam as relações dos volumes dos elipsóides dos σ_{ult} e dos E. Como se sabe, os volumes dos elipsóides são dados pelas fórmulas:

$$V_E = \frac{4}{3} \pi A B C \qquad (7)$$

Relativamente ao granito gnaissóide, fig. 7 e 8, verifica-se que a gnaissidade parece predominar sobre todos os outros fenómenos, levando os elipsóides dos E e dos σ_{ult}, após rotação, a serem pràticamente homotéticos.

3 — SISTEMA DE DIACLASES E ATITUDES DAS ENCOSTAS

3.1 — Representação estereográfica

Em paralelo com os ensaios efectuados em laboratório efectuaram-se determinações no campo que permitiram, por meios estatísticos, definir os

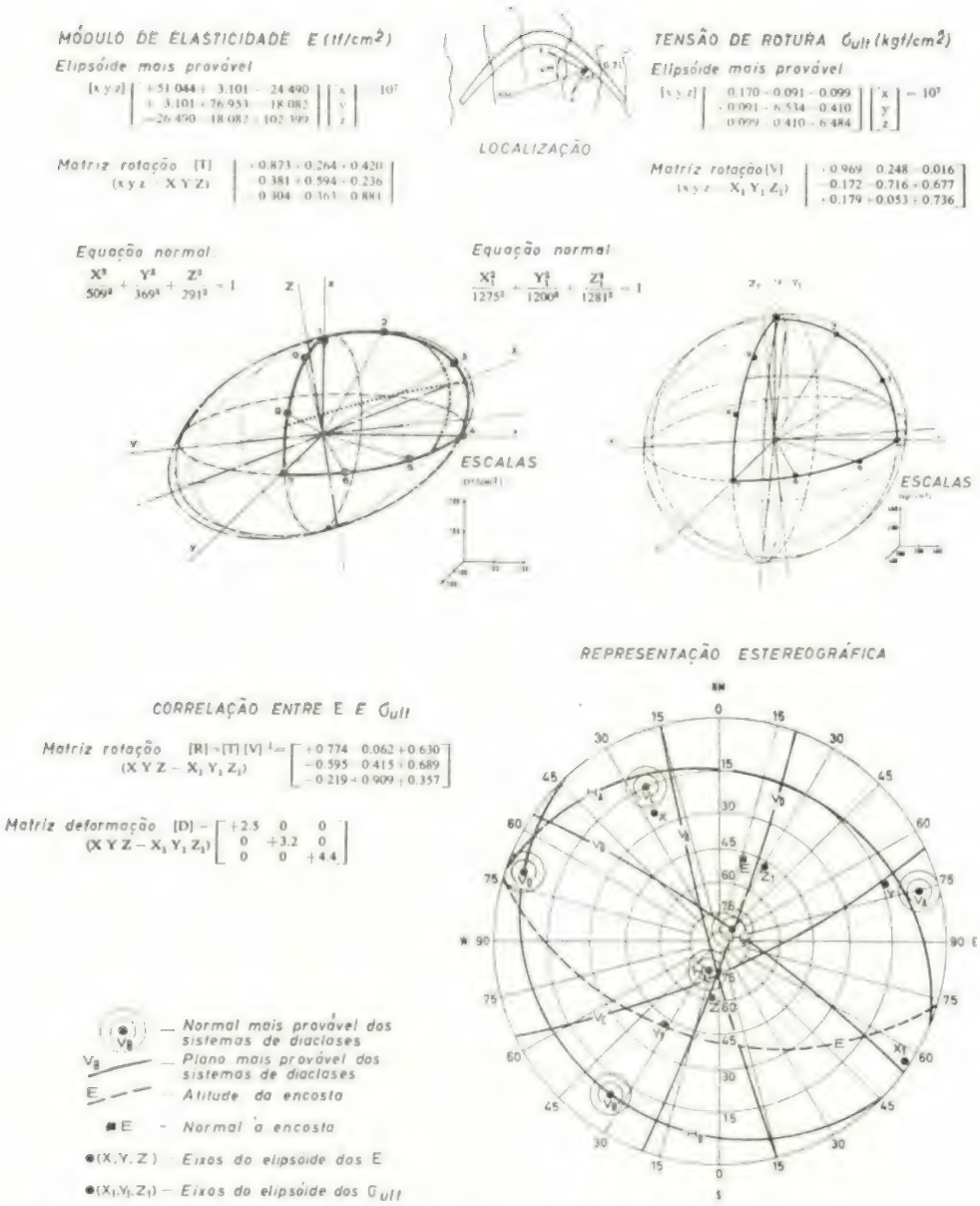


Fig. 5 — Granito de grão médio porfiróide de duas micas.
Local da Barragem do Alto Lindoso — Rio Lima — Galeria 2 E

sistemas de diaclases mais significativos e para cada um deles a orientação e declinação mais prováveis, definidoras da sua atitude [2].

A partir da planta topográfica obtém-se fàcilmente a atitude da encosta, no local correspondente à extracção de cada um dos blocos de ensaio.

Nas fig. 2 a 8 inclusive encontram-se representadas em projecção estereográfica, para cada local, as atitudes dos sistemas de diaclases e da encosta, definidas pela normal e pelo traço do plano respectivo, e também os eixos dos elipsóides dos E e dos σ_{ult}.

3.2 — Análise conjunta dos resultados

A análise das representações estereográficas de cada local estudado, quando feita em conjunto, mostra existir uma tendência sistemática para os eixos dos elipsóides dos E e dos σ_{ult} serem paralelos ou normais a sistemas de diaclases ou à encosta correspondente.

Esta sistematicidade indica que é grande a probabilidade de os fenómenos geomecânicos ou doutra natureza, que terão dado origem à formação dos sistemas de diaclases e das encostas e que caracterizam geològicamente de algum modo o

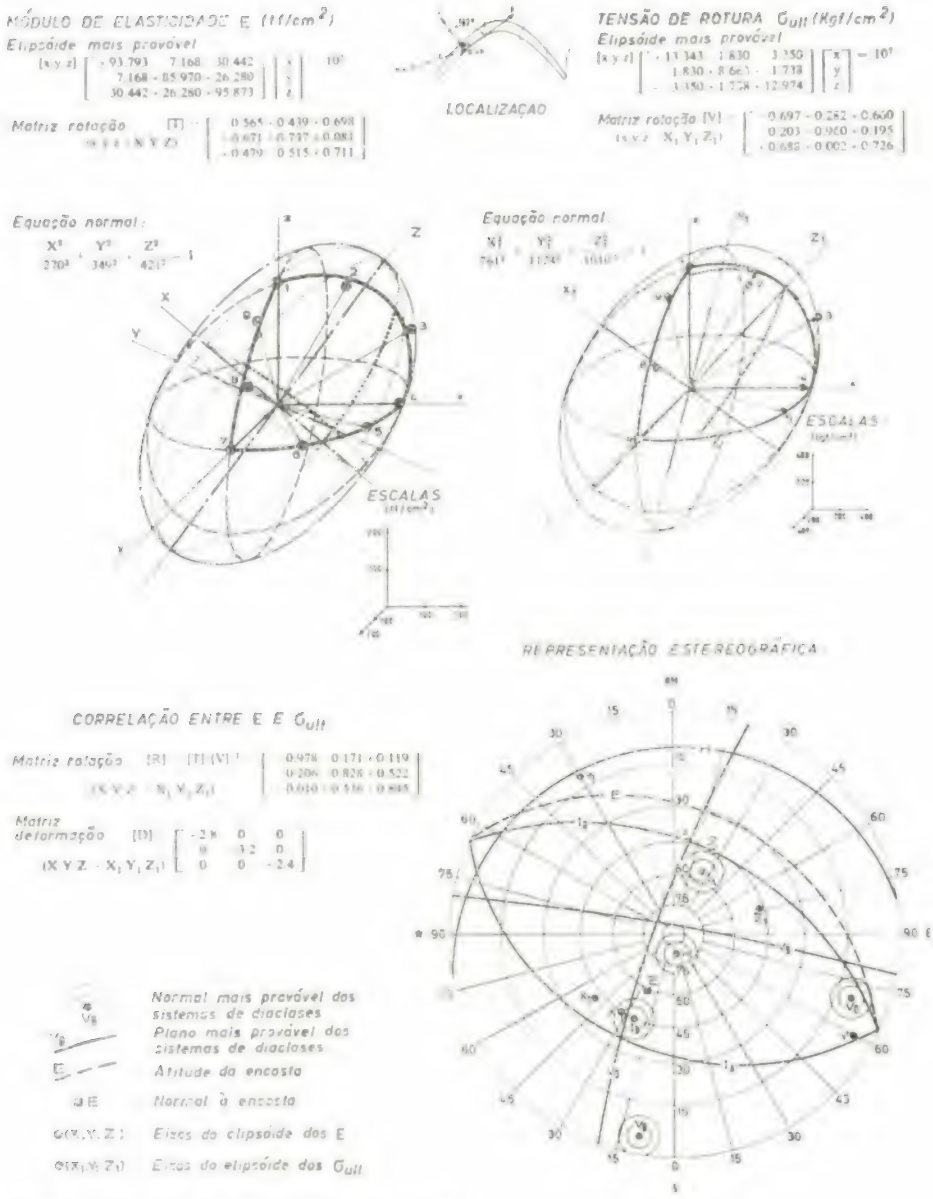


Fig. 6 — Granito de grão médio de micas.
Local da Barragem de Alto Lindoso — Rio Lima — Galeria 4 D

maciço rochoso, terem igualmente influenciado a distribuição espacial dos E e dos σ_{ult}. Sendo assim, esta influência confere a estas características mecânicas anisotropias correlacionadas geomètricamente com as atitudes dos sistemas de diaclases e das encostas.

A análise sumária e superficial que se acaba de fazer é apenas um enunciado de estudos promissores, que se abrem com largas perspectivas, num propósito de relacionação de propriedades características que ocorrem em domínios extremos, do muito grande (maciço rochoso) ao muito pequeno (provete de rocha).

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) tem actualmente em curso neste vasto domínio das correlações de propriedades, entre outros estudos, o da análise modal [1] e o dos ensaios de corte de rochas e de deslizamento de diaclases no campo e em laboratório [2].

4 — CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados dos estudos mencionados neste trabalho permitem enunciar algumas conclusões e sugestões de ordem geral, relativamente a maciços rochosos de formação granítica.

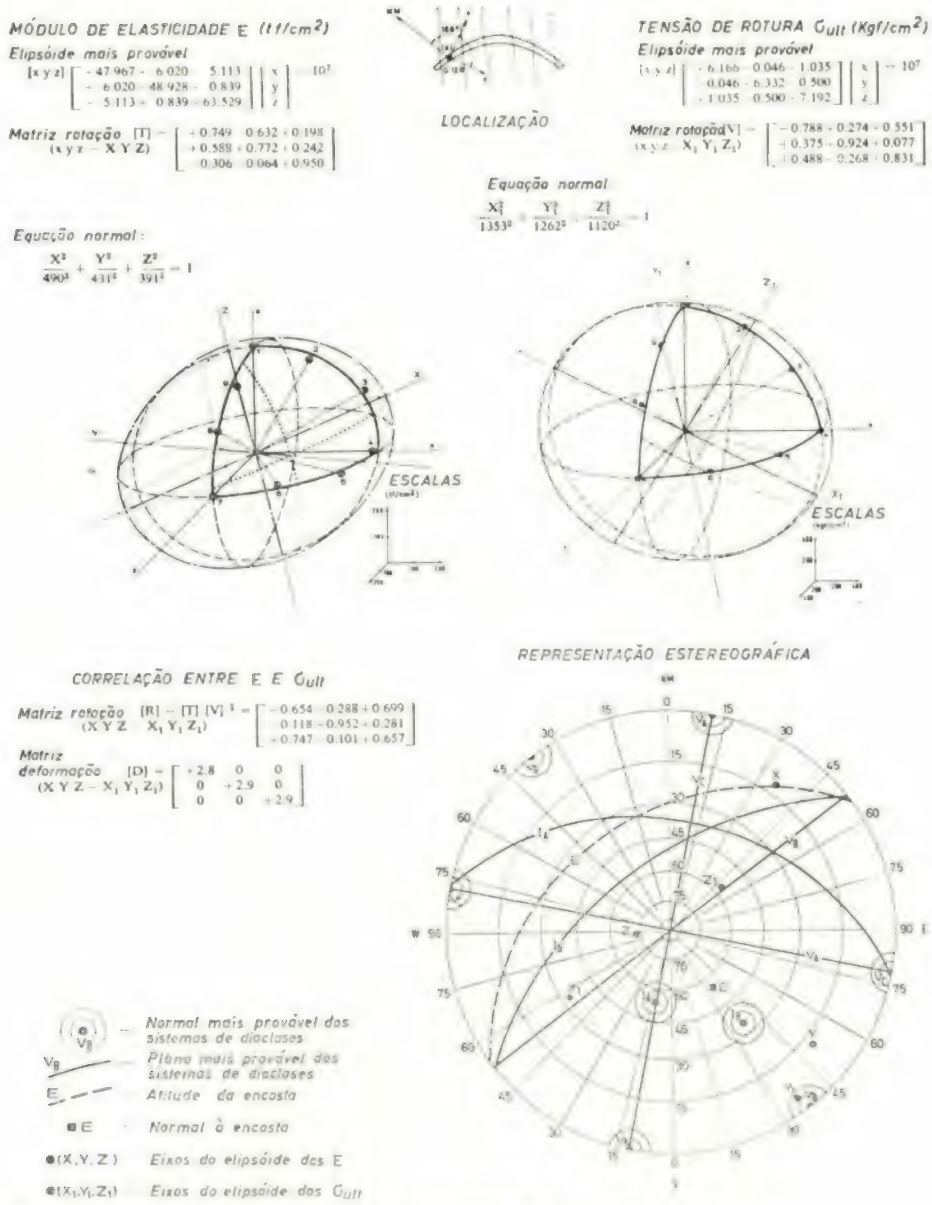


Fig. 7 — Granito de grão grosseiro gnaissóide de duas micas.
Local da Barragem de Vilarinho — Rio Homem — Galeria 12 D

4.1 — Conclusões

a) Os módulos de elasticidade, E, e as tensões de rotura, σ_{ult}, ao redor de um ponto são traduzidos, muito satisfatòriamente, por leis quadráticas do tipo elipsóide;

b) Os elipsóides dos E e dos σ_{ult} podem ser correlacionados mediante transformações lineares, compostas de uma rotação de amplitude relativamente pequena, e de uma transformação autométrica, tendendo esta nos granitos gnaissóides para uma transformação homotética, pelo que se conclui que, regra geral, os módulos de elasticidade e as tensões de rotura sofreram influências diferenciadas devidas aos mesmos fenómenos;

c) Os fenómenos geomecânicos parecem acentuar mais a anisotropia dos elipsóides dos módulos de elasticidade, pelo que é de presumir a sua maior sensibilidade àqueles fenómenos;

d) O fenómeno da alteração parece, por outro lado, ter maior influência nas tensões de rotura, traduzida por uma maior diminuição do volume dos elipsóides que as representam;

e) A verificação de uma tendência sistemática, em cada local, para os eixos dos elipsóides dos E e dos σ_{ult} serem paralelos ou normais às atitudes

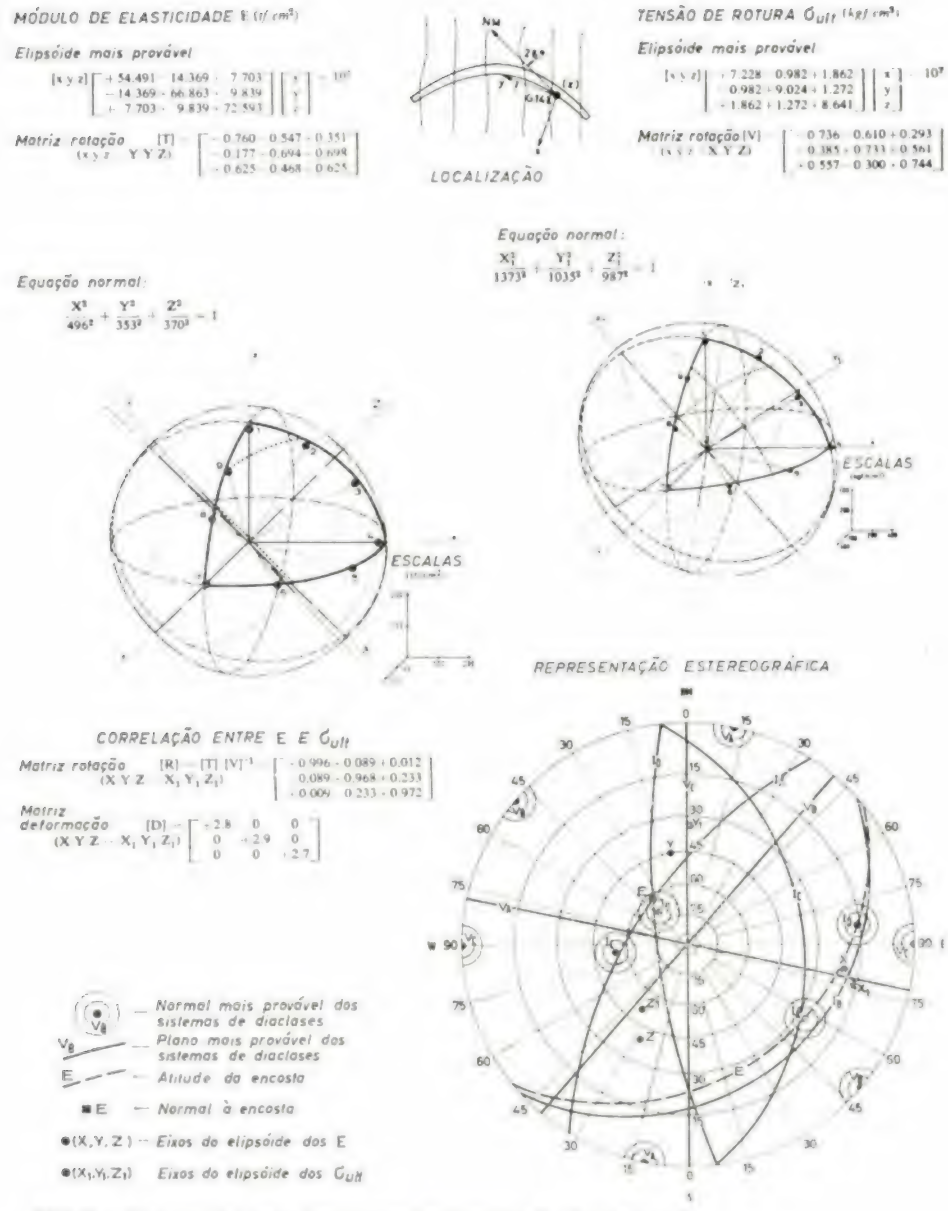


Fig. 8 — Granito de grão grosseiro gnaissóide de duas micas.
Local da Barragem de Vilarinho — Rio Homem — Galeria 14 E

dos sistemas de diaclases ou da encosta faz supor a existência de correlações entre estas características.

4.2 — Sugestões

a) Aumento de precisão na obtenção dos elipsóides mais prováveis, mediante ensaios segundo doze direcções e não apenas nove.

b) Alargamento de estudos desta natureza a outras características determinadas quer em laboratório (ensaios em pequena escala) quer no campo (ensaios em grande escala), num propósito de relacionação dessas mesmas características, com vista a um melhor conhecimento e interpretação dos fenómenos ligados à Mecânica das Rochas.

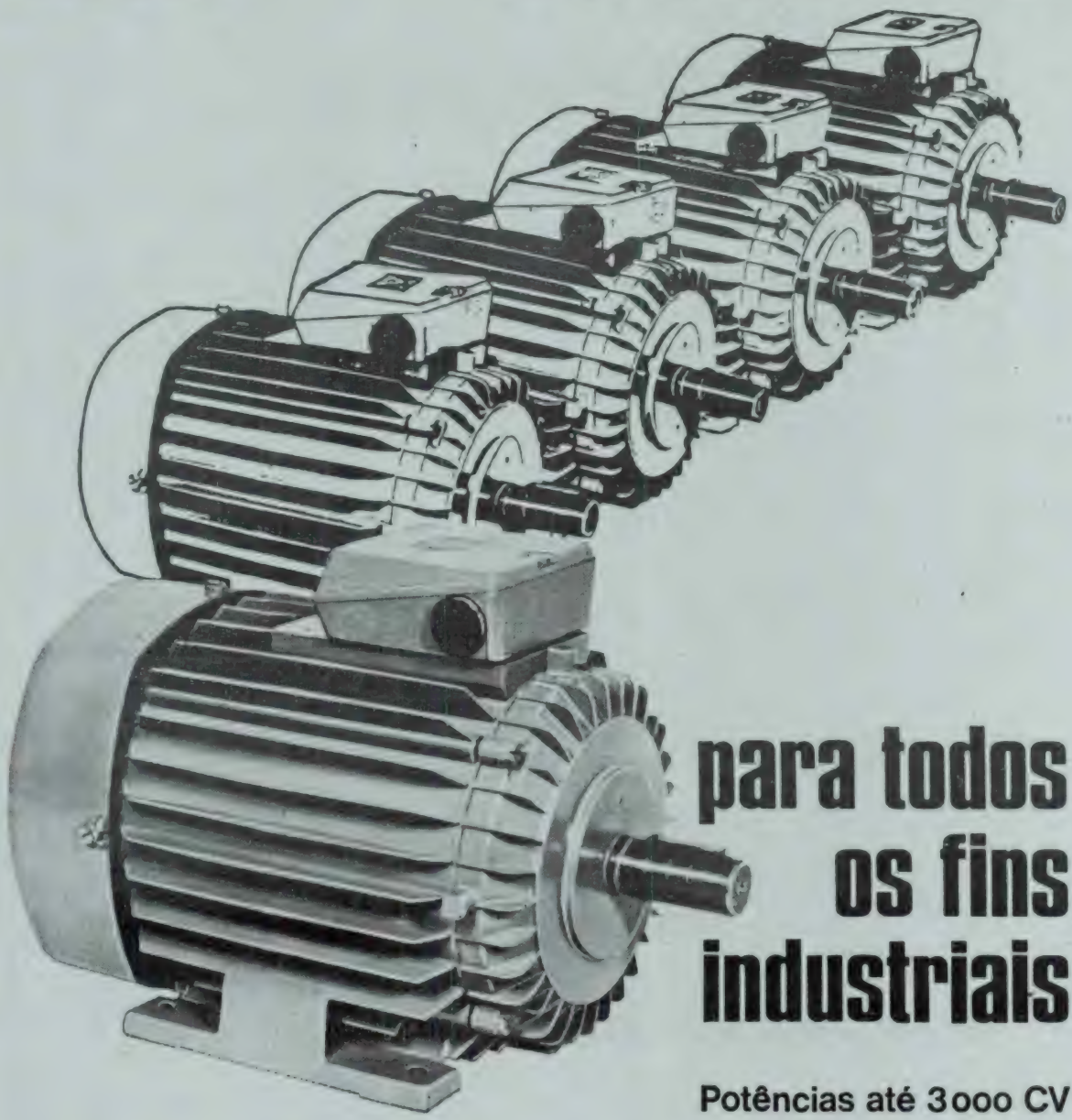
BIBLIOGRAFIA

[1] MELLO MENDES, F.; AIRES-BARROS, L. e PERES-RODRIGUES, F. — The use of modal analysis in the mechanical characteristics of rock masses. Lisboa, 1966.

[2] SILVEIRA, A. F.; PERES-RODRIGUES, F.; GROSSMANN, N. F. e MELLO MENDES, F. — Quantitative characterization of the geometric parameters of jointing in rock masses. LNEC. Lisboa, 1966.

Motores eléctricos

EFACEC



para todos os fins industriais

Potências até 3ooo CV

EFACEC, a maior organização do país no ramo electrotécnico

FILTROS TECIDOS

PARA GAZES E LÍQUIDOS
EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEFS.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESIRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C.P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C.P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 7 14 97

C. D. U. 550.837.3 : 627.82
624.131.25 : 627.82

APLICAÇÃO DAS CARTAS DE RESISTIVIDADES ELÉCTRICAS APARENTES NO ESTUDO DE LOCAIS DE BARRAGENS (1)

por JOAQUIM MOURA ESTEVES
Engenheiro Civil, Especialista do Serviço de Geotecnia do L. N. E. C.

RESUMO

Neste trabalho evidencia-se o interesse da aplicação da técnica geofísica das cartas de resistividades eléctricas aparentes no estudo de locais de barragens.

Ilustra-se o trabalho com três cartas de resistividades aparentes. Uma destas cartas pode ser comparada com um esboço geológico onde estão assinaladas as diversas rochas aflorantes nos taludes e na base das escavações abertas no maciço rochoso na zona da barragem. A cartografia geológica foi efectuada nos taludes dessas escavações, levadas até cerca de 20 metros de profundidade.

Nos três exemplos apresentados verificou-se após as escavações que, duma forma geral, as previsões baseadas nas cartas de resistividades aparentes correspondiam ao estado em que se encontrava o maciço rochoso na zona prospectada.

SYNOPSIS

This paper focuses the geophysical method using apparent electrical resistivity maps for dam site surveying.

The work is illustrated with three apparent resistivity maps. One of these maps can be compared with the geologic scheme on which are denoted the different rocks cropping out of the slopes and at the bottom of the excavations made in the rock mass at the site of dam. The geologic maps were plotted from data collected in the slopes of these excavations down to a depth of 20 m.

In the three examples that are presented it was found out that, as a rule, the predictions based on the apparent electrical resistivity maps were in agreement with the actual state of the rock mass as found after excavation in the prospected zone.

1 — INTRODUÇÃO

As obras de engenharia civil só podem ser devidamente projectadas depois de conhecidas a natureza e a estrutura dos terrenos onde vão ser implantadas. E quanto maior for a envergadura da obra é evidente que maior extensão terá de ser dada ao estudo dos terrenos que constituirão a sua fundação. A experiência tem mostrado que o conhecimento deficiente dos terrenos de fundação duma obra se paga sempre muito caro.

Estas premissas são claras, na escolha do local de implantação duma barragem e da sua central, no traçado dum túnel, na abertura duma estrada, etc.

Ressalta assim a importância da prospecção dos terrenos, com o objectivo de conhecer a sua estrutura, natureza, composição e propriedades conforme o fim em vista. Entre os vários meios ou processos de reconhecimento de terrenos que a técnica põe à disposição do projectista, encontram-se os métodos de prospecção geofísica.

Duma forma geral são de esperar melhores resultados quando da aplicação sucessiva do método da resistividade eléctrica e dos métodos sísmicos de refracção ou de reflexão, e eventualmente também dos métodos magnético e gravimétrico; neste trabalho, porém, apenas se faz referência ao método de prospecção geofísica por resistividade eléctrica. Descrevem-se as suas técnicas de prospecção através do «perfil» e do «rectângulo» de resistividades eléctricas aparentes, utilizadas para o traçado de cartas de resistividades aparentes.

No estudo de locais para implantação de barragens, especialmente de betão, o traçado de cartas de resistividades aparentes após o reconhecimento geológico de superfície revela-se em geral de grande utilidade porque permite evidenciar, com boa aproximação, a estrutura tectónica da zona prospectada até uma certa profundidade. Além disso contribui em geral para uma melhor definição do programa de prospecção mecânica subsequente.

Apresentam-se neste trabalho três destas cartas

(1) Um extracto deste trabalho foi apresentado no 1.º Congresso Internacional de Geologia de Engenharia, realizado em Paris de 8 a 11 de Setembro de 1970.

Artigo recebido em 15/2/971.

de resistividades aparentes, correspondentes a outros tantos locais de barragens em betão prospectados no ano de 1969. Uma das cartas de resistividades aparentes pode ser comparada com a planta das escavações feitas para a implantação da obra, contendo um esboço geológico das rochas observadas nos taludes e na base dessas escavações. Pode verificar-se que houve relativamente boa precisão nas previsões feitas a partir da carta de resistividades aparentes.

2 — MÉTODO DA RESISTIVIDADE ELÉCTRICA. TÉCNICAS UTILIZADAS

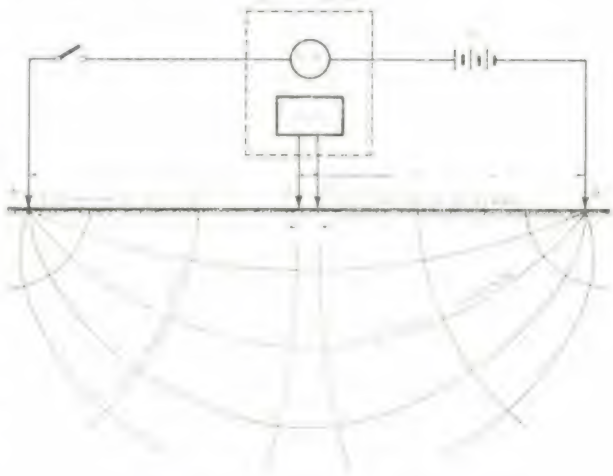
Como se sabe, o método da resistividade eléctrica baseia-se no facto de a uma variação das propriedades físicas dos terrenos corresponder, em geral, uma variação no valor da sua resistividade eléctrica.

O desenvolvimento do método processa-se a partir do estudo do campo eléctrico de potenciais, criado artificialmente pela injecção no terreno duma corrente eléctrica, e relacionando-o depois com as características geológicas do local. Esse estudo tem por finalidade a determinação da resistividade eléctrica dos terrenos interessados pela prospecção e o conhecimento da sua repartição segundo a profundidade.

Os dispositivos de medida empregados nas determinações de resistividades eléctricas respeitantes aos exemplos apresentados neste trabalho eram constituídos, genèricamente, por quatro eléctrodos colocados à superfície do terreno, destinando-se dois (A e B) à injecção da corrente eléctrica e os outros dois (M e N) à recepção ou medição de diferenças de potencial criadas pela injecção da corrente eléctrica.

As posições relativas destes quatro eléctrodos conduzem, como se sabe, a diversas técnicas de prospecção. Porém, apenas nos interessa referir as técnicas do «perfil e do rectângulo» de resistividades eléctricas [1, 2 e 3].

Diz-se que se realiza um *perfil de resistividades eléctricas* quando se fazem determinações de resistividades eléctricas com um dispositivo de medida constituído por quatro eléctrodos dispostos segundo um alinhamento recto, com geometria constante, e que se faz deslocar ao longo dum alinhamento determinado. Nos casos aqui referidos a geometria do dispositivo utilizada foi a de Schlumberger (Esquema A) em que, como se sabe, a distância $\overline{MN}$ é geralmente muito mais pequena do que a distância $\overline{AB}$, variando entre $\overline{AB}/50$ a $\overline{AB}/25$.



Esquema A — Esquema de princípio. Dispositivo Schlumberger

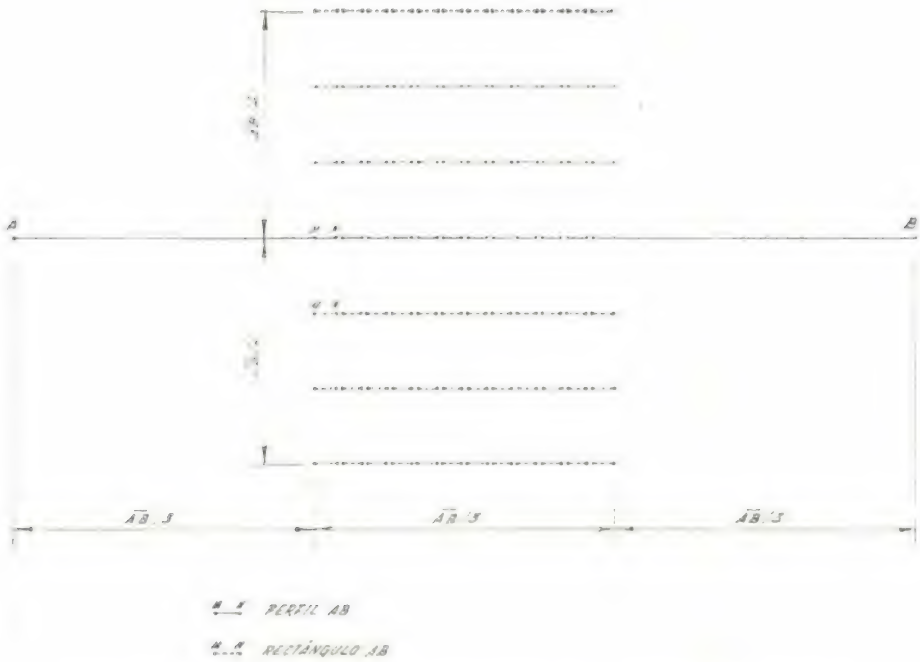
Designa-se por *rectângulo de resistividade eléctrica* (Esquema B) um dispositivo geométrico caracterizado por se fazerem deslocar os eléctrodos de potencial M e N ao longo de perfis paralelos ao alinhamento $\overline{AB}$ dos eléctrodos de corrente, mantidos fixos, e num comprimento de um terço de $\overline{AB}$. O conjunto destes perfis desenha um rectângulo, onde o campo eléctrico é pràticamente constante para um meio homogéneo e isótropo [2].

Para estes dispositivos de medida com quatro eléctrodos, a expressão matemática que permite calcular a resistividade eléctrica (ρ) dum semi-espaço homogéneo e isótropo pode ter a forma seguinte, como se sabe [1 e 2]:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \; \frac{2\pi}{\dfrac{1}{\overline{AM}} - \dfrac{1}{\overline{AN}} - \dfrac{1}{\overline{BM}} + \dfrac{1}{\overline{BN}}} \qquad (1)$$

em que:

- ρ — é a resistividade eléctrica do meio expressa em ohm. metro (Ω m).
- ΔV — é a diferença de potencial medida entre os eléctrodos M e N, e é expressa em milivoltes.
- I — é a intensidade da corrente eléctrica que circula no terreno, sendo expressa em miliamperes.



Esquema B — Método da resistividade eléctrica — Técnica do rectângulo (dispositivo Schlumberger)

2π — é uma constante geométrica correspondente ao semi-espaço.

$\overline{AM}$; $\overline{AN}$; $\overline{BM}$ e $\overline{BN}$ — são as distâncias entre eléctrodos, expressas em metros.

Esta expressão apresenta-se normalmente escrita numa forma mais simples, a saber:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

em que K (expresso em metros) depende das configurações geométricas do dispositivo de medida e do meio onde ele se insere.

É óbvio que qualquer destes dispositivos pode aplicar-se também à superfície dum meio não homogéneo. Nesse caso pode ainda aplicar-se a expressão (2) mas, evidentemente, se o campo de medida interessa as heterogeneidades, já não se determina uma resistividade eléctrica verdadeira (ρ), determinando-se sim uma resistividade aparente (ρ_a). Esta grandeza não é, pois, uma característica intrínseca dos materiais. As suas dimensões são as da resistividade eléctrica real ou verdadeira.

A expressão (2) passa então a ter a forma seguinte:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

o que quer dizer que a resistividade eléctrica aparente dum meio heterogéneo é igual à resistividade eléctrica dum meio homogéneo ao qual se aplicou, por hipótese, o mesmo dispositivo de medida e em que se mediram os mesmos valores de ΔV e de I que tinham sido observados naquele primeiro meio.

Evidentemente que, num meio homogéneo e isótropo, o valor da resistividade eléctrica aparente ρ_a determinado pela aplicação da expressão (3) coincide pois com o valor da resistividade eléctrica real desse meio.

Em virtude de se manter constante a distância $\overline{AB}$ da linha de emissão da corrente eléctrica, nos dispositivos geométricos mencionados, faz-se uma prospecção pràticamente a profundidade constante. A escolha da profundidade de investigação, ou melhor, a fixação das dimensões do dispositivo de medida, é função do problema a resolver, da natureza dos terrenos, etc., variando de caso para caso.

Por exemplo, se se pretende definir, à escala duma grande barragem de betão, a estrutura geológica duma zona onde a cobertura do firme rochoso é da ordem das duas dezenas de metros, convirá empregar um dispositivo de medida com uma linha de emissão da corrente eléctrica que tenha de comprimento entre uma a duas centenas

de metros, para que as observações não sejam apenas influenciadas pelo material que constitui essa cobertura. Para este caso a técnica a utilizar é a do «rectângulo» de resistividades eléctricas aparentes.

Se na zona a prospectar ocorrem afloramentos em larga escala, então deverá empregar-se a técnica do perfil de resistividades, com linha de emissão da corrente eléctrica da ordem das dezenas de metros de comprimento.

Para que se evidencie a estrutura geológica devem os perfis ter uma direcção quanto possível normal à direcção estrutural predominante, definida por exemplo nos afloramentos ocorrentes na área a prospectar. Não sendo aquela direcção bem definida haverá que realizar alguns perfis de ensaio segundo diferentes orientações.

Efectuada a prospecção pela aplicação duma das técnicas referidas, podem traçar-se cartas de resistividades aparentes, em geral do seguinte modo:

Numa planta à escala 1:500 ou 1:1000, consoante o problema a estudar, implantam-se os valores de resistividades aparentes obtidos nos pontos que lhes correspondem; escolhe-se depois um escalonamento desses valores segundo uma lei aritmética, geométrica ou logarítmica e em seguida definem-se linhas de igual resistividade (iso-resistividade), que constituem as fronteiras do escalonamento escolhido.

O traçado destas linhas de iso-resistividade deve iniciar-se sempre que possível nas zonas onde ou existem já informações de observação directa ou se revelam alinhamentos estruturais definidos por valores de resistividades aparentes próximos. Por vezes há que escolher um outro escalonamento de valores desta grandeza para que se evidencie a estrutura geológica da área prospectada.

A interpretação da sequência de valores de resistividades aparentes, obtidos na realização de perfis ou de rectângulos de resistividades, limita-se normalmente a uma comparação desses valores, uns em relação aos outros. Por isso, tal interpretação tem apenas carácter qualitativo. No entanto, deverão fazer-se sempre que possível medições paramétricas de resistividades eléctricas, especialmente nas zonas que apresentam os mais baixos valores dessa grandeza. Deste modo poderão correlacionar-se tais valores com o estado de alteração dos terrenos, o que é uma boa indicação para o estabelecimento das hipóteses sobre o estado de alteração das rochas, evidenciado pelas observações registadas nas cartas de resistividades aparentes.

A interpretação destas cartas depende pois do conhecimento das características gerais da geologia da zona em estudo, obtido através dum reconhecimento geológico de superfície, e da experiência pessoal. Deve procurar-se explicar o significado geofísico de cada conjunto de valores de resistividades aparentes e quais as relações prováveis entre eles. Depois, torna-se necessário esclarecer ou confirmar o significado e a importância de cada um dos aspectos revelados na carta, perante o problema que se pretende resolver.

É sempre vantajoso fazer uma interpretação preliminar duma carta de resistividades aparentes directamente sobre o terreno.

3 — EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

O objectivo deste trabalho é evidenciar o interesse da aplicação da técnica geofísica das cartas de resistividades aparentes no estudo geotécnico de locais de barragens.

Os exemplos apresentados, embora não cubram todos os casos possíveis de estudar com aquela técnica, ilustram três dos de maior interesse, referentes a prospecções geoeléctricas realizadas em 1969 nos locais das barragens do Torrão (rio Tâmega), Fratel (rio Tejo) e Odivelas (ribeira de Odivelas).

3.1 — Barragem do Torrão

No local da barragem do Torrão as formações geológicas são constituídas por granito porfiróide, grosseiro, de duas micas, ocorrendo por vezes muito alterado, e granitos de grão fino por vezes também bastante alterados.

Depois de feito um levantamento geológico prévio [4] com base numa série de escavações pouco profundas, segundo alinhamentos paralelos ao rio, e também em galerias relativamente curtas, efectuou-se uma prospecção geoeléctrica com vista a delimitar em profundidade eventuais zonas de alteração e acidentes geológicos, como falhas, etc. Dado que as rochas afloravam pràticamente em toda a área interessada pela barragem, planificou-se a prospecção de modo a interessar duas profundidades de investigação. Iniciou-se a

FIG. 1 _ TORRÃO DAM. APPARENT RESISTIVITY MAP. ($\overline{AB}$ = 39 m $\overline{MN}$ = 3 m)

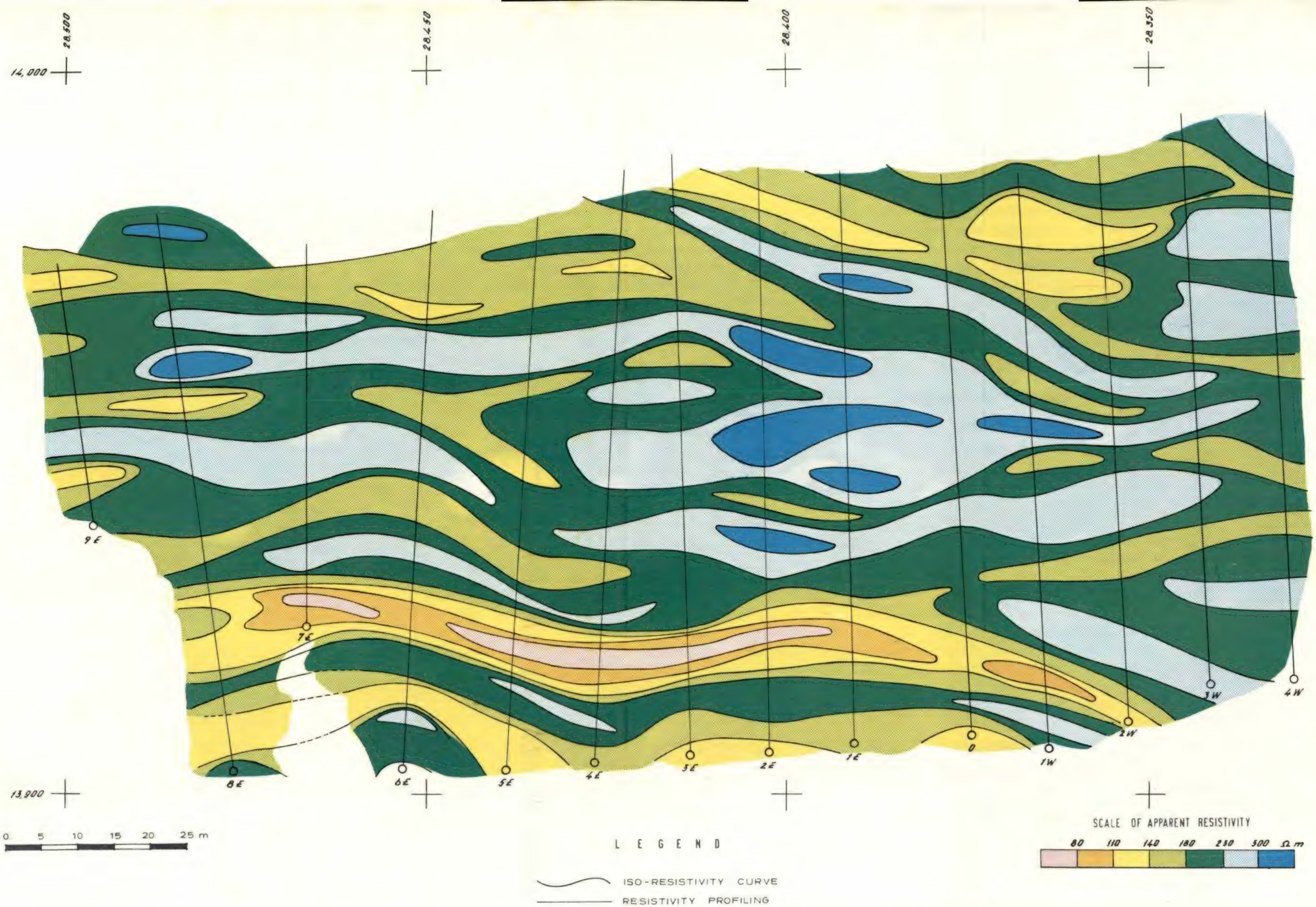


FIG. 2 - FRATEL DAM. APPARENT RESISTIVITY MAP ($\overline{AB}$ = 21 m ; $\overline{MN}$ = 3 m)

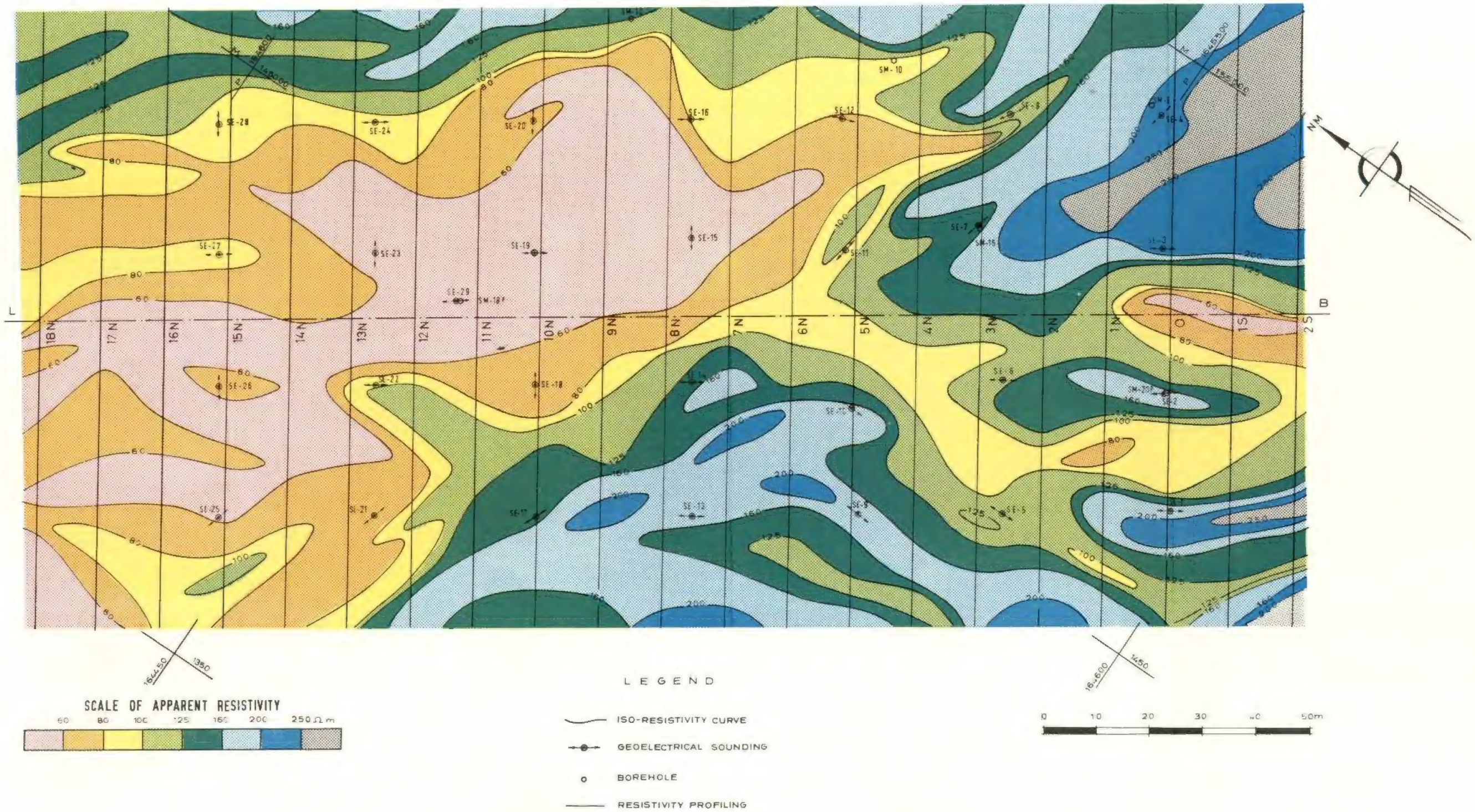


FIG. 3 _ ODIVELAS DAM. APPARENT RESISTIVITY MAP. ($\overline{AB}$ = 180 m ; $\overline{MN}$ = 5 m)

prospecção até uma profundidade de cerca de 7 metros, empregando-se um dispositivo de medida com as dimensões seguintes: $\overline{AB} = 21$ m; $\overline{MN} = 3$ m.

Depois, efectuou-se uma prospecção a maior profundidade, até cerca de 14 metros, utilizando-se para isso um dispositivo de medida com as seguintes características $\overline{AB} = 39$ m; $\overline{MN} = 3$ m.

Com estes dispositivos de medida efectuaram-se perfis de resistividades aparentes segundo alinhamentos paralelos ao rio e ao longo das plataformas resultantes das escavações atrás mencionadas. A direcção destes perfis era aproximadamente normal à direcção das estruturas dominantes na área estudada. Depois traçaram-se duas cartas de resistividades aparentes, uma das quais se apresenta na figura 1.

A carta correspondente à maior profundidade de investigação revelou que, em geral, as zonas de rocha muito alterada, assinaladas à superfície e a que correspondem os mais baixos valores de resistividades aparentes, continuavam a existir até àquelas profundidades, acusando mesmo por vezes maior desenvolvimento.

Pode observar-se nessa carta de resistividades aparentes que na zona de montante — onde se pensava inicialmente implantar a barragem e a galeria de desvio, esta situada na margem esquerda — as formações se apresentam muito conturbadas.

Discutidos «in loco» os resultados obtidos e comparando-os com os evidenciados pelas escavações em trincheiras e galerias, foi resolvido pelos serviços técnicos da empresa concessionária deslocar mais para jusante a implantação da obra, antevendo-se melhores condições de fundação para a barragem e para a galeria de derivação do rio.

Aproveitando as informações que foi possível retirar da carta de resistividades correspondente à maior profundidade de investigação, desenvolveram-se os trabalhos de prospecção directa, então já programados, para atender à nova implantação da obra.

Até à data da elaboração do relatório do trabalho, mostraram as sondagens mecânicas realizadas e as galerias que as previsões feitas com base nas cartas de resistividades aparentes se revelaram acertadas, correspondendo bem à realidade encontrada.

3.2 — Barragem de Fratel

Na margem esquerda do local da barragem de Fratel, onde se previam grandes escavações para implantação da central e de outras obras com ela confinantes, efectuou-se uma pequena prospecção geoeléctrica com o objectivo de se determinarem certas características dum filão de rocha básica muito alterada, localizado em alguns pontos da área interessada pelos trabalhos. Fundamentalmente pretendia-se avaliar o andamento desse filão básico, encaixado em formações de xistos e grauvaques, o seu desenvolvimento, possança e inclinação. Além disso esperava-se que a prospecção geoeléctrica permitisse evidenciar, no caso de eventualmente ali ocorrerem, acidentes geológicos que não tivessem sido localizados, com interesse para o estudo da estabilidade dos taludes das escavações a realizar.

Como a espessura dos terrenos de cobertura era muito pequena a prospecção constou da realização de perfis de resistividades aparentes, empregando-se o seguinte dispositivo de medida: $\overline{AB} = 21$ m e $\overline{MN} = 3$ m. Os perfis ficaram afastados cerca de 15 m uns dos outros. Depois, com base nos elementos assim obtidos traçou-se uma carta de resistividades aparentes, que se mostra na figura 2.

Nesta carta está bem evidenciado um alinhamento definido pelos mais baixos valores de resistividades aparentes (até cerca de 140 Ω.m) que corresponde ao filão de rocha básica muito alterado, especialmente bem definido numa galeria aberta na zona dos trabalhos. Mostra esta carta que o filão se desenvolve sem ramificações, pràticamente na direcção vertical e com uma possança quase constante.

Mostra também a carta de resistividades a ocorrência de outras estruturas geológicas ou alinhamentos de rocha muito conturbada, nas zonas inferior e superior da carta, cujo reconhecimento por processo de prospecção directa poderia ter interesse no estudo da estabilidade dos taludes resultantes das escavações previstas.

3.3 — Barragem de Odivelas

No local da barragem de Odivelas efectuou-se uma prospecção geoeléctrica na zona do encontro da margem direita tendo em vista reconhecer, ràpidamente, a eventual ocorrência em profundi-

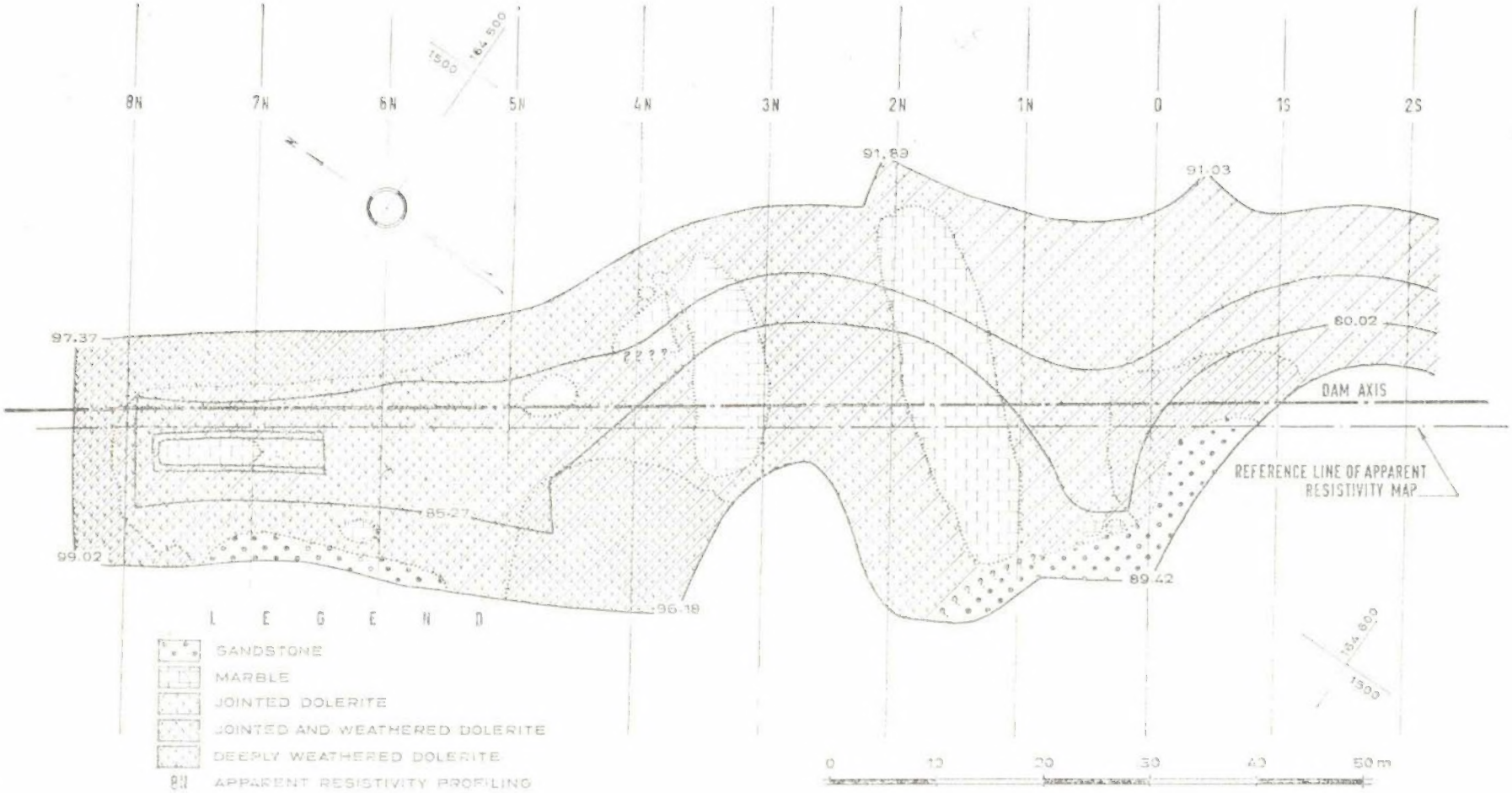


Fig. 4 — Barragem de Odivelas. Planta de escavações e esboço geológico.

dades das rochas observáveis à superfície. Na área prospectada, cerca de 100 × 200 m, observaram-se rochas doleríticas, calcários cristalinos e uma cobertura relativamente pouco espessa de formações terciárias e quaternárias.

Iniciou-se a prospecção realizando algumas sondagens geoeléctricas, dispersas pela área em estudo, o que permitiu ter uma ideia geral da espessura de alteração das formações presentes, cerca de dezena e meia de metros. A partir deste conhecimento e das informações recolhidas nas sondagens mecânicas (SM-16P, SM-8P e SM-20P) realizadas na área prospectada, dimensionou-se o dispositivo de medida a empregar nos perfis de resistividades. Foi escolhido o rectângulo de resistividades com as seguintes características: $\overline{AB} = 180$ m e $\overline{MN} = 5$ m com perfis afastados 12 metros uns dos outros.

Com a aplicação deste dispositivo ràpidamente se prospectou a área interessada, com grande número de observações, cerca de 500, permitindo o traçado duma carta de resistividades aparentes, que se apresenta na figura 3. Foram lidos oito rectângulos e mais dois perfis centrais $\overline{AB}$, cobrindo-se uma área de 240 × 120 m.

O escalonamento dos valores de resistividades aparentes escolhido permitiu evidenciar, como é bem visível na carta, a ocorrência de duas zonas elèctricamente distintas, provàvelmente correspondentes a tipos de rocha diferente. Nota-se que na zona elèctricamente mais condutora, com valores de resistividades aparentes que vão até cerca de 100 Ω. m, a sondagem mecânica SM-18 P, prèviamente realizada, tinha revelado a existência duma rocha porfirítica, bastante diferente das rochas encontradas nas sondagens mecânicas SM-16 e SM-20 P, doleritos e calcários cristalinos, situados na zona de resistividades aparentes superiores a 100 Ω. m.

Mostra ainda a carta de resistividades a existência de dois alinhamentos elèctricamente bastante condutores, na zona das rochas doleríticas e calcários cristalinos, podendo corresponder a estruturas geológicas, cujo esclarecimento deveria definir a sua importância para a obra.

Posteriormente houve oportunidade de observar as escavações efectuadas para a construção da parte da barragem em betão na zona abrangida pela prospecção acima referida. Fez-se depois um esboço geológico cartografando as rochas visíveis na base e nos taludes dessas escavações [5].

Na figura 4 está desenhado aquele esboço geológico, o qual, quando comparado com a carta de resistividades aparentes, permite verificar a boa aproximação das previsões feitas com base nessa carta. Merece especial referência a concordância dos alinhamentos de baixos valores de resistividades aparentes assinalados junto à linha de base $\overline{LB}$ nos perfis 0-1S-2S e nos perfis 4N a 8N, com o estado das rochas ali encontradas, profundamente alteradas (1).

4 — CONCLUSÕES

Dos exemplos apresentados conclui-se do grande interesse em aplicar, e tão cedo quanto possível, a técnica das cartas de resistividades aparentes na prospecção dum local para eventual implantação duma barragem.

Pretende-se fundamentalmente, ao fazer-se tal aplicação, definir, embora aproximadamente e duma forma indirecta, a estrutura das formações geológicas presentes até à profundidade investigada. A correlação entre estas estruturas e os conjuntos dos valores de resistividades aparentes revelados é em geral bastante boa, conforme foi evidenciado nos exemplos apresentados.

A partir duma carta de resistividades aparentes pode-se programar, de forma judiciosa, a realização dum plano de prospecção directa por meio de sondagens mecânicas, galerias, etc.

BIBLIOGRAFIA

1 — HEILAND, C. A. — Geophysical Exploration. 1940. Prentice-Hall, Inc. New York.

2 — KUNETZ, G. — Principles of Direct Current Resistivity Prospecting. 1966. Gebrüder Borntraeger. Berlin.

3 — ESTEVES, J. M. — Prospecção geoeléctrica para pesquisa de águas no sul de Angola — Alguns casos típicos. 2.ª Conferência sobre Prospecção Geofísica. L. N. E. C., Lisboa, 1966.

4 — NEIVA, J. M. COTELO — Geologia do local da barragem do Torrão. 1969. Relatório não publicado.

5 — ESTEVES, J. M.; MACHADO, F. A. — Prospecção geofísica no local da barragem de Odivelas. Relatório complementar. L. N. E. C. Proc. 54/1/3723. Nov. 1969.

(1) Numa visita feita ao local da barragem, em Outubro de 1970, verificou-se que as escavações tinham sido aprofundadas, pondo a descoberto maior área de fundação da barragem. Com este alargamento das escavações ficou particularmente saliente o aprofundamento para leste das rochas rijas (calcários cristalinos e doleritos sãos) no troço recto final da obra em betão, de acordo aliás com o revelado pela carta de resistividades aparentes — zona de altos valores desta grandeza, superiores a 125 Ω.m, na parte oeste e próxima da linha de base $\overline{LB}$ nos perfis 5N a 8N.

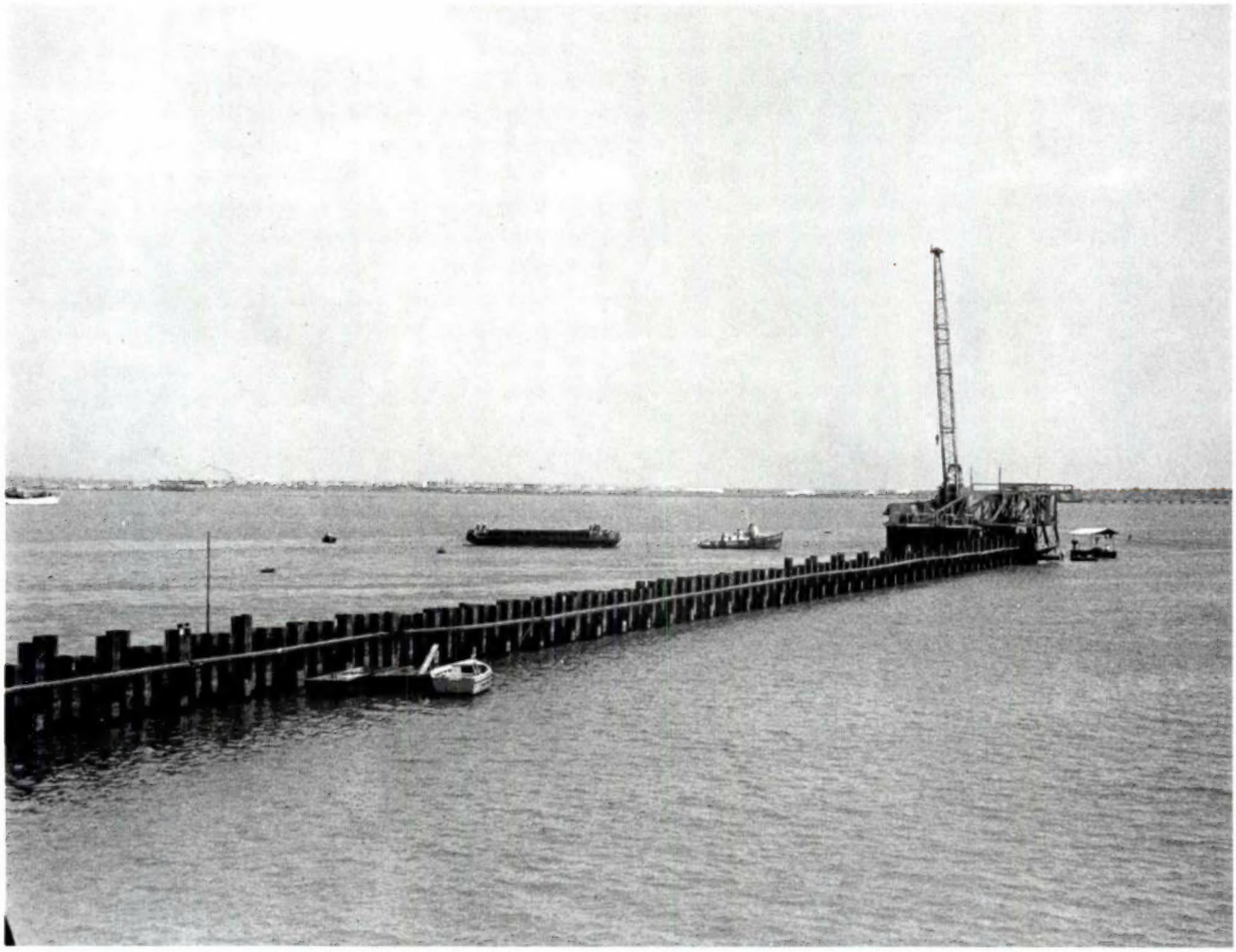
FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS NO MUNDO

OBJECTIVO E PROGRAMA	LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO, INFORMAÇÕES
3rd European Symposium on Size Reduction	Cannes, 5-8 Outubro-71 3rd ESSR C/o Syndicat Nacional des Industries D'Équipements — MTPS 10, Av. Hoche, Paris 8, França
3.ª Feira Internacional de Luanda	Luanda, 5-20 Outubro-71 Associação Industrial de Angola C. P. 1296
Exposição Textil	Porto, 9-24 Outubro-71 AIP
Engineering Inspection and Quality Control Exhibition and Conference (Inspex) Maquinaria e Equipamento para as Funções de Inspecção, Teste e Control em Engenharia	London, 12-15 Outubro-71 Business Conferences and Exhibition Limited. Mercury House, Waterloo Road, London SE1, Inglaterra
3.ª Exposição Internacional de Novos Materiais e Produtos para a Construção	Praga, 12-21 Outubro-71 Ordem dos Engenheiros
PROTECNA — 1er Salon Internacional «Prodution de la Nature et Environnement»	Rouen, 13-18 Outubro-71 C.O.M.E.T., 48, quai de Paris, 76 Rouen, França
INTERKAMA-71 5.º Congresso Internacional com Exposição da Técnica de Medida e Automação Temas: 1. Técnica Metódica 2. Planeamento de Instalações Apoiadas em Calculadoras Electrónicas 3. Problemas de Construção de Sistemas Integrados 4. Novas Vias da Técnica de Medida de Precisão 5. Construção Apoiada em Calculadoras Electrónicas 6. Antropotécnica nos Postos de Comando 7. Novas Vias da Técnica de Regulação 8. Condução de Operações com a Ajuda de Máquinas Calculadoras Digitais 9. Automatismo de Campo de Ensaio e de Laboratórios 10. Técnica de Comando Binário para Aplicação Simples 11. Novas Vias da Técnica de Medida de Exploração	Düsseldorf 14-20 Outubro-71 Düsseldorfer Messegesellschaft mbH. NOWEA Zentral Bereich Inlandz, 4 Düsseldorf 10 Postfach 10203,
FILEME — Salão Internacional de Equipamento e Mobiliário de Escritório	Lisboa, 15-24 Outubro-71 FIL

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.



DIRECÇÃO DE SERVIÇOS DE CAMINHO DE FERRO, PORTOS E TRANSPORTES (DSCFPT) — Moçambique — Porto de Lourenço Marques — Novo prolongamento do cais Gorjão: 320 metros de cortina metálica em concertina, em fundos de (— 11,00).

OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL—INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

MIRANDELA & C.ª - 35 000 ex. - 8/70